

DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS CAD/CAM PARA A PORMENORIZAÇÃO E PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE ARMADURAS PARA ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO

CÁTIA AIDÉ NOGUEIRA RIBEIRO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor João Pedro da Silva Poças Martins

Coorientador: Engenheiro João Luís Lima Cabral Tavares de Lima

JUNHO DE 2013

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-5081446



miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-5081440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais e família

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o Professor João Poças Martins, cabe-me agradecer não só pela conveniente orientação, como também pelo interesse e motivação pelo tema desenvolvido. Os conhecimentos transmitidos foram também muito importantes para um melhor desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu coorientador, o Engenheiro João Lima da empresa Bimtec, pelo apoio logístico, disponibilizando as ferramentas essenciais ao desenvolvimento da parte inicial desta proposta, mas principalmente pelas ideias e sugestões que me deu ao longo destes meses, levando-me a explorar caminhos ainda pouco discutidos atualmente.

Ao Joaquim Graça, da empresa Sardaço, pela pronta ajuda prestada desde o primeiro contacto com a empresa e pela disponibilidade demonstrada, tanto em termos de acesso aos equipamentos da fábrica como em sugerir ideias para o alcance dos objetivos pretendidos.

Ao Pedro Falcão e Jorge Silva, pelo apoio técnico que me disponibilizaram ao longo do projeto, permitindo-me assim uma aprendizagem mais rápida dos programas utilizados.

Aos meus amigos de infância e faculdade, por todos os momentos proporcionados e o mútuo incentivo, e pelo apoio fundamental ao longo dos anos.

Ao Pedro, pelo apoio prestado ao longo destes meses e pelo interesse manifestado desde cedo pelo tema deste trabalho, incentivando-me a ir sempre mais além.

Por fim à minha família, que sempre me apoiou incondicionalmente durante todas as etapas da minha vida, não sendo esta uma exceção. Especialmente aos meus Pais, agradeço pela constante compreensão e por me terem proporcionado todas as condições que solicitei tanto para o desenvolvimento deste trabalho como durante todo o meu percurso académico.

RESUMO

Atualmente o mundo da construção precisa de estar numa constante evolução face às exigências da sociedade e da economia. A introdução do BIM nos métodos de trabalho vem não só trazer vantagens económicas como também de cooperação e organização de todo o processo de construção, que começa com a ideia de construir uma edificação e acaba com a utilização e manutenção da mesma.

São inúmeras as áreas influenciadas por esta nova ferramenta, mas esta dissertação focou-se particularmente na preparação de armaduras. A indústria do aço é uma das mais influentes no sector AEC, e é também onde se verifica uma crescente necessidade de adoção de melhores técnicas de trabalho. Analisou-se uma alternativa inovadora que visa não só a produção de um produto com maior qualidade como um método mais automatizado. Neste contexto, surge o conceito CAD/CAM, que dá resposta às exigências que se associam às armaduras. No contexto nacional, constatou-se que os processos identificados e depois desenvolvidos nesta dissertação são ainda desconhecidos. Isto levou ao incentivo maior para desenvolver o proposto trabalho uma vez que este é um método ainda pouco explorado.

Tendo sempre o BIM como referência, desde o desenho em planta das armaduras à sua colocação em obra, adquiriu-se experiência em programas com capacidade de fornecer todos os elementos necessários à sua execução. Já são muitas as empresas a nível mundial que executam os seus projetos com recursos a programas BIM, contudo, surge a necessidade de viabilizar a interoperabilidade entre os gabinetes e fábricas. Com este projeto, é proposto um processo sequencial, tentando criar uma ligação quase direta entre a preparação de armaduras e a sua fabricação. Para obter esta ligação, foi necessário automatizar ao máximo o processo de fabricação mas também garantir que os documentos obrigatórios imprescindíveis em obra fossem obtidos de uma forma rápida e automática. As vantagens económicas associadas à produção industrial são também um incentivo para o melhoramento deste sistema, que apesar de mais económico pode ser inovado ao longo de todo o processo.

Face ao conteúdo proposto neste trabalho, é de salientar a alteração da entidade responsável pela elaboração dos desenhos de preparação. Atualmente, esta é uma tarefa realizada em fábrica, sendo uma atividade adicional ao fabrico das armaduras. Perante os objetivos alcançados neste projeto, sugere-se que este trabalho extra passe a ser realizado antes dos pedidos chegarem às fábricas, uma vez evidenciada a facilidade de obtenção destes documentos em gabinetes de projeto.

Assim, este trabalho propõe um conjunto de formas de modelação onde se procura ter como referência bibliotecas standardizadas, para uma organização mais geral das armaduras. Numa fase posterior, o caso estudo foi direcionado para o processo de fabricação, onde se sugere uma ligação automática entre o programa de modelação e a máquina de fabrico automática.

PALAVRAS-CHAVE: BIM, Modelação, Armaduras, Máquinas CNC, Desenhos de Preparação.

ABSTRACT

The field of construction needs to be in a constant evolution because of the demands of society and economy. The introduction of BIM methods brings economic advantages and also better management and interoperability during the whole construction process, which starts with the idea of constructing a building and finishes with the use and maintenance of it.

The developments of this new tool are countless, but this dissertation has focused particularly on the reinforcement bars. The steel industry is one of the most influential in the AEC sector, and is also one that needs to adopt better working techniques and present more attractive results. Nowadays steel waste is one of the largest expenses of the all project, so it was analysed an alternative that aims not only a product with higher quality but also an automated and innovative method for it production. In this context, CAD/CAM was introduced, because it enables solutions for shop drawings and also for a possible connection between the programs used and the automated fabrication.

Having always BIM as a reference, from the design of rebars to its placing, was acquired some experience in programs that provide all the elements needed and it was test the viability of automating all the manufacturing process. With this project, it is proposed a sequential process, trying to reach an almost direct connection between the preparation of reinforcement and its fabrication. It was necessary to automate almost all of the manufacturing process but also ensure that documents required for in construction were obtained in a fast and automatic way. The economic advantages associated with industrial production were also an incentive for improving this system.

Given the proposed content it should be emphasized the change of responsibility for preparing the shop drawings. Currently, this task is performed at the factory, being an additional activity to the manufacture labour. Because of the achievements of this project, it is suggested that this extra work to be performed before the requests reach the factories.

To finish, this paper proposes a set of ways of modelling that uses standard libraries to reach a more common way to display the results. The case study was then directed to the manufacturing process, suggesting an automatic link between the modelling program and automatic bending machine.

KEYWORDS: BIM, Modelling, Reinforcement bars, CNC Machines, Shop drawings.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. ÂMBITO E OBJETIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
2 ESTADO DA ARTE	5
2.1. BIM	5
2.1.1. DEFINIÇÃO.....	5
2.1.2. IFC	6
2.1.3. INTEROPERABILIDADE.....	7
2.1.4. LOD – REGRAS DE MODELAÇÃO	8
2.1.4.1. ESTABILIDADE DE PARCERIAS	9
2.1.4.2. RESPONSABILIDADE CONTRATUAL.....	10
2.2. DA MODELAÇÃO AO FABRICO	11
2.2.1. DESENHOS DE PREPARAÇÃO	11
2.2.2. CAD/CAM	11
2.2.3. EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA DA ARMADURA.....	12
2.2.4. VANTAGENS DOS AVANÇOS TECNOLÓGICOS	12
2.2.5. POTENCIALIDADES DO BIM.....	13
2.3. NORMAS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	14
2.3.1. CASO DO REINO UNIDO.....	15
2.3.2. CASO DOS EUA.....	15
2.3.3. CASO DE PORTUGAL	16
2.4. MÁQUINAS DE CORTE AUTOMÁTICO	16

2.4.1. DO DESENHO À PRODUÇÃO	16
2.4.2. MÁQUINAS DE CONTROLO NUMÉRICO (<i>NUMERICALLY CONTROLLED MACHINES</i>)	17
2.4.3. SISTEMA CAD/CAM E AS MÁQUINAS CNC	18
2.4.4. CLASSIFICAÇÃO DAS MÁQUINAS DE CORTE.....	19
2.4.5. SISTEMA DE FORNECIMENTO DE MATÉRIA-PRIMA	20
2.4.6. SISTEMA DE CORTE E DOBRAGEM.....	22
2.4.7. GESTÃO DOS DESPERDÍCIOS DE VARÃO	23
2.4.8. ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO DO PRODUTO FINAL	23

3 PROCESSOS DE MODELAÇÃO DE ARMADURAS EM BIM

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	25
3.2. REVIT.....	26
3.2.1. PRÉ REQUISITOS	26
3.2.2. RECOBRIMENTO.....	26
3.2.3. MODELAÇÃO PARAMÉTRICA.....	28
3.2.4. MODELAÇÃO COM RECURSO ÀS EXTENSÕES DA AUTODESK	30
3.2.5. MODELAÇÃO INDIVIDUAL	31
3.2.6. TABELAS.....	33
3.2.7. DESENHOS	34
3.2.8. <i>ASSEMBLIES</i>	35
3.2.9. ANOTAÇÕES	35
3.3. TEKLA STRUCTURES.....	36
3.3.1. MODELAÇÃO INDIVIDUAL.....	36
3.3.2. MODELAÇÃO AUTOMÁTICA.....	38
3.3.3. MODELAÇÃO PARAMÉTRICA.....	40
3.3.4. DESENHOS E TABELAS	41
3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44

4 PROCESSO CAM – CASO DE ESTUDO.....

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	46
4.2. MÉTODO DE PRODUÇÃO DA EMPRESA SARDAÇO	46

4.3. CURIOSIDADES SOBRE SOFTWARES DE LIGAÇÃO	47
4.4. A SARDAÇO E O BIM	48
4.5. LIGAÇÃO COM REVIT.....	48
4.6. LIGAÇÃO COM TEKLA.....	50
4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
 5. PRODUÇÃO AUTOMATIZADA DE ARMADURAS – AVALIAÇÃO TÉCNICO - ECONÓMICA	 55
5.1. IMPACTO DOS NOVOS MÉTODOS DE FABRICO	55
5.2. ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE CUSTOS	56
5.2.1. MÃO-DE-OBRA	56
5.2.2. DESPERDÍCIOS DE MATERIAL	56
5.2.3. CUSTO DO MATERIAL.....	57
5.2.4. QUALIDADE.....	58
5.2.5. CUSTOS TOTAIS	58
5.3. CONCLUSÕES.....	59
 6 CONCLUSÃO	 63
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
6.2. PERSPETIVAS FUTURAS	65
BIBLIOGRAFIA	67
 ANEXOS	 71
ANEXO 1 – DEFINIÇÕES	73
ANEXO 2 – TABELA RESUMO COM OS CÓDIGOS DA BS 8666:2005	75
ANEXO 3 – DESENHO DE PREPARAÇÃO PRODUZIDO NO TEKLA	77
ANEXO 4 – LISTA DE OTIMIZAÇÃO DE CORTE PRODUZIDA NA EMPRESA SARDAÇO	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema com os objetivos gerais da presente dissertação.	3
Figura 2 – Fatores que influenciam o uso de BIM (McGraw_Hill 2007).	8
Figura 3 – Planeamento do projeto de execução em BIM esquematizado num guia elaborado por Pennsylvania State University, 2009.	10
Figura 4 – Códigos de forma 51 e 56, com respetivo esquema e parâmetros, presentes na BS 8666:2005.	15
Figura 5 - Esquema geral de máquina de corte e dobragem (Navon, Rubinovitz, and Coffler 1995)..	20
Figura 6 – Sistema de fornecimento de matéria-prima (Navon, Rubinovitz, and Coffler 1995)	21
Figura 7 – Exemplo de sequência de dobragem (Navon, Rubinovitz, and Coffler 1995).	23
Figura 8 – Opção “Cover” correspondente ao recobrimento, disponibilizada no separador de Estruturas no menu do programa Revit.	27
Figura 9 – <i>Printscreen</i> onde se apresentam exemplos de diferentes recobrimentos que se podem adicionar em cada estrutura no programa Revit.	27
Figura 10 – Estrutura simples modelada pela autora no programa Revit, onde se utilizaram elementos estruturais básicos.	28
Figura 11 – Exemplo de disposição de secções no modelo apresentado na Figura 10, aquando a utilização do programa Revit.	28
Figura 12 – Exemplo de corte de pilar e fundação do modelo criado pela autora, utilizando o programa Revit.	29
Figura 13 – <i>Workflow</i> base para modelação de armaduras quando se utiliza o Revit como ferramenta de trabalho.	29
Figura 14 – <i>Printscreen</i> onde se identificam as opções disponibilizadas pelo Revit quanto ao número de barras a colocar.	30
Figura 15 – Opções fornecidas pelas Extensões, extra fornecido pela Autodesk para o programa Revit.	30
Figura 16 – Quadro fornecido pelas Extensões do Revit para colocação de armaduras, ilustrando-se nesta figura as opções quando as vigas são os elementos a armar.	31
Figura 17 – Opção “Sketch rebar” para desenho de armaduras personalizado, no programa Revit...	31
Figura 18 – Exemplo de armadura desenhada “à mão” pela autora, utilizando o programa Revit.	32
Figura 19 – Tabela resumo das propriedades a caracterizar nas armaduras disponibilizada pelo programa Revit.	32
Figura 20 – Filtros aplicados ao diâmetro da armadura e espaçamento disponibilizados para a criação de mapas de quantidades no Revit.	33
Figura 21 – Exemplo de tabelas dos totais de armaduras criadas no Revit.	34

Figura 22 – Plano de corte e alçado superior demonstrativos das exigências impostas para os desenhos de construção.	34
Figura 23 – Exemplo das possíveis vistas criadas com <i>Assemblies</i> de uma viga, pela autora, utilizando o Revit.	35
Figura 24 – Exemplo de legendas possíveis de obter para a legendagem de armaduras utilizando o programa Revit.	36
Figura 25 – Atalho para a opção “Grupo de barras de reforço” disponibilizado no programa Tekla Structures.	36
Figura 26 – Exemplo de conjunto de estribos desenhados manualmente pela autora no Tekla Structures.	37
Figura 27 – Tabela resumo com propriedades das armaduras apresentada pelo programa Tekla Structures.	38
Figura 28 – <i>Printscreen</i> das Macros disponibilizadas pelo Tekla Structures para elementos de Betão.....	39
Figura 29 – Tabela apresentada pela macro “Reforço de viga” no Tekla Structures.	39
Figura 30 – Viga armada modelada pela autora com o recurso às macros.	40
Figura 31 – Procedimento para aceder à biblioteca de formas de dobragem de armaduras utilizando o Tekla Structures.	40
Figura 32 – <i>Printscreen</i> com as formas de dobragem de armadura disponibilizadas pela biblioteca do Tekla.	41
Figura 33 – Exemplo de lista de Desenhos obtidos através do Tekla Structures.	42
Figura 34 – Exemplo de desenho de preparação de viga armada criada pela autora através do programa Tekla Structures.	42
Figura 35 – Mapa de quantidades relativo à viga apresentada na Fig. 34.	43
Figura 36 – <i>Printscreen</i> do editor do <i>Template</i> de Tabelas de Quantidades associadas aos desenhos de preparação no Tekla Structures.	43
Figura 37 – Ferramenta do Tekla Structures para personalização de desenhos, com destaque nas Armaduras.	44
Figura 38 – Fluxograma síntese do processo CAD desenvolvido.	45
Figura 39 – Exemplo de etiquetas produzidas na Sardaço.	47
Figura 40 – Exemplo de tabela de quantidades associadas às armaduras de uma viga gerada pela autora no Revit.	48
Figura 41 – <i>Printscreen</i> da biblioteca de formas para armaduras disponível no WAS.	49
Figura 42 – Fluxograma do processo CAD/CAM desenvolvido pela autora com utilização do programa Revit.	50
Figura 43 – Amostra da oferta de ficheiros para exportação oferecida pelo Tekla.	51
Figura 44 – <i>Printscreen</i> da tabela de exportação para BVBS através do programa Tekla.	52

Figura 45 – Ficheiro de texto com linguagem do ficheiro BVBS, correspondente a um estribo regular.....	52
Figura 46 – Informações apresentadas pela máquina Coil 16 relativas ao dispositivo USB.....	53
Figura 47 – Exemplo de Interface das máquinas Schnell.	53
Figura 48 - Fluxograma do processo CAD/CAM com utilização do programa Tekla.	54
Figura 49 – Esquema geral dos processos CAD/CAM propostos nesta dissertação.	65
Figura 50 – Coil 16 Evo, Schnell.	74
Figura 51 – Planet 20, MEP.	74

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Custo unitário de materiais [Adaptado de (Casaleiro 2010)].	59
--	----

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção.

ASCII - American Standard Code for Information Interchange

BIM – Building Information Modeling

BVBS - *BundesVereinigung der BauSoftwarehäuser*

CAD – Computer Aided Design

CAM – Computer Aided Manufacturing

CIC – Computer-Integrated Construction

CNC – Controlo Numérico Computarizado

COBie – Construction Operations Building Information Exchange

CSP – Cutting Stock Problem

EUA – Estados Unidos da América

IFC – Industry Foundation Classes

IAI – International Alliance for Interoperability

LOD – Level of Development

MT – Materiais

SI – Sistemas de Informação

TI – Tecnologias de Informação

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Face ao que se verifica nas grandes indústrias de produção, a evolução está nas novas tecnologias. Contudo, a indústria da construção necessita de tempo para aceitar e implementar os avanços tecnológicos, uma vez que são muitos os fatores em causa. Há também a descrença que muitos profissionais demonstram em deixar de parte um contacto mais direto e manual com as tarefas, e aceitar que máquinas e programas executem esses trabalhos.

A evolução dos métodos de trabalho é ainda assim evidente. A introdução da elaboração de desenhos com CAD aconteceu gradualmente, sendo neste momento a forma mais comum de preparar plantas, vistas, cortes e todos os esboços que sejam necessários para a edificação de uma estrutura. O desenho manual deixou-se de lado e passou-se a um trabalho mais informatizado e preciso. Porém, já foi demonstrado que é possível ir mais longe, conseguir melhores resultados e com menos tempo de trabalho.

Surge então a era do BIM, sendo afirmado por muitos como o futuro da construção. O conceito BIM não se restringe apenas a um conjunto de *softwares* a si associados. Trabalhar com BIM implica uma compreensão das responsabilidades de cada entidade, uma forma de trabalho sequencial e extremamente organizada que deriva de um eficaz uso das ferramentas disponibilizadas.

São inúmeras as novidades que este método traz mas, uma com bastante relevo, é a modelação paramétrica e tridimensional. A capacidade de associar características, custos, materiais e fases de projeto a cada um dos elementos desenhados, permite que o modelo criado possa ser útil para as diversas entidades envolvidas em todo o projeto. A criação de um modelo central é um dos atrativos que mais cativa os utilizadores. Para além dos tradicionais desenhos e documentos 2D, que neste momento ainda são imprescindíveis, a informação disponível é muito mais vasta com o uso de BIM.

Relativamente à fabricação, tomando como referência a indústria automóvel, são notáveis as inovações que permitem uma produção bastante automatizada. O recurso à mão-de-obra será cada vez mais diminuto, pois as máquinas demonstram resultados mais precisos, rápidos e económicos. Neste âmbito surge a referência ao CAM. A informatização de máquinas de produção é uma questão fundamental quando se fala em desenvolvimentos tecnológicos. Ao associar um computador a uma máquina, o seu controlo é conseguido, sendo possível dar instruções sobre a forma da máquina trabalhar e assim chegar-se ao produto final pretendido. A produção em serie é facilmente atingida, garantindo não só rapidez como também qualidade.

Focando as atenções para a indústria do aço, mais concretamente para as armaduras de elementos de betão armado, é possível encontrar algumas propostas que contornam o processo tradicional de corte e dobragem de armaduras em estaleiro. Uma vez que o aço representa uma das maiores perdas em projeto, que invariavelmente se traduzem em gastos desnecessários, a busca de soluções mais eficazes deverá ser uma preocupação por parte do sector da construção. Com base nos desenvolvimentos com BIM e na automatização das indústrias, surge a possibilidade de tornar o desenho e a produção de armaduras num processo mais rápido, exato e automático.

1.2. ÂMBITO E OBJETIVOS

Sabendo das vantagens ao utilizar BIM e os seus respetivos *softwares*, o desenho de armaduras poderá ser uma das tarefas a desempenhar usando estes recursos, ao invés de recorrer à ferramenta mais corrente nos tempos de hoje, o Autocad. Sendo possível a modelação de toda a parte estrutural de um edifício em BIM, as armaduras não devem ser exceção e, como tal, os programas deverão ser testados de forma a verificar que efetivamente esta nova forma de trabalho permite obter todos os documentos exigidos e de uma forma mais rápida e automática.

A modelação de armaduras noutros países já é uma prática mais frequente, tendo sido desenvolvidas normas e documentos que visam ajudar neste processo. Sendo a dobragem e o corte de varões um processo que poderá não variar muito, caso a geometria das peças seja regular, foi possível obter compilações de formas de dobragem padrão, às quais são atribuídos códigos. Desta forma há uma organização de todos os varões utilizados, e que respeitam também as normas e eurocódigos. Estas bibliotecas poderão ser incorporadas nos programas e portanto a modelação torna-se mais estandardizada e facilmente interpretada por qualquer entidade.

Assim, esta dissertação pretende testar a viabilidade da modelação e elaboração de desenhos de preparação de armaduras em programas BIM, tendo como base de trabalho bibliotecas de formas padronizáveis de dobragem e corte.

Relativamente à produção de armaduras, este é um processo ainda bastante rudimentar, na medida em que em Portugal ainda é maioritariamente feito por trabalhadores não especializados, em estaleiro e onde as condições de trabalho por vezes não são as melhores. Para além disso, os resultados poderão não estar em conformidade com os eurocódigos, a qualidade não é assegurada e o controlo poderá não ser muito rigoroso.

O surgimento de máquinas de corte e dobragem automático de armaduras trouxe resposta a questões como controlo de qualidade, produção precisa e em grandes quantidades. Assim, surge a possibilidade de interligar o processo de modelação e preparação com o de fabrico, visto as máquinas serem de controlo numérico. Pretende-se então que o modelo gerado pelo projetista, de acordo com regras específicas, sirva de base à produção automática de armaduras, com uma intervenção humana nula, ou quase nula. Para tal, é necessário testar a compatibilidade entre os ficheiros lidos pelas máquinas e os gerados pelos programas a usar, assim como perceber de que forma a máquina processa as instruções, definindo assim como devem ser fornecidas as informações descritivas das armaduras.

Em suma, esta dissertação tem como objetivo a investigação e proposta de um processo CAD/CAM para a modelação de armaduras de elementos de betão armado e o seu respetivo fabrico (ver Figura 1).

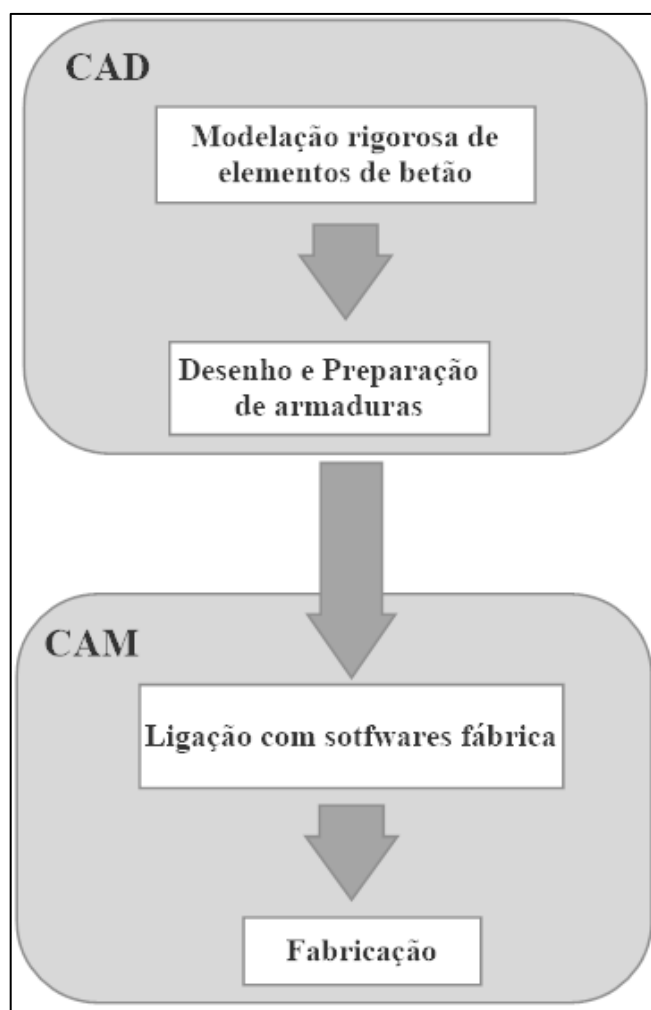


Figura 1 – Esquema com os objetivos gerais da presente dissertação.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A estrutura da dissertação desenvolve-se em cinco capítulos, dos quais o primeiro é a presente introdução onde se faz um enquadramento geral do tema a desenvolver e onde são descritos os principais objetivos a atingir com este trabalho.

No segundo capítulo apresenta-se o estudo do estado da arte onde é apresentada, uma breve exposição sobre o BIM e o conceito de partilha de informação entre entidades, visando a utilização de uma linguagem de trabalho semelhante. Seguidamente é feito um apanhado geral da indústria das armaduras, onde se procura mostrar a ligação que é possível estabelecer entre este sector e o BIM, tomando como referência alguns países onde esta prática é mais frequente. Por último, abordam-se as máquinas de corte automático, que representam um dos principais avanços tecnológicos, mas que ainda são desconhecidas por grande parte da sociedade, e reflete-se ainda sobre as potencialidades que estas máquinas irão permitir no futuro.

O terceiro capítulo trata da descrição do processo de representação para o desenvolvimento de projetos de armaduras e os seus respetivos desenhos de preparação. No sentido de apresentar estes métodos de

uma forma mais abrangente, utilizaram-se dois programas distintos, apresentando para cada um deles as diferentes formas de obter os documentos finais pretendidos.

No quarto capítulo deu-se seguimento ao processo CAD/CAM, na medida em que, uma vez terminada a parte de preparação em escritório, procedeu-se para a parte da fabricação. Foi feito um levantamento das empresas na zona Norte que trabalham com máquinas CN, procurando perceber qual a sua forma atual de trabalho. Depois de recolhidas as informações necessárias, e com base nos recursos disponíveis em fábrica, estudaram-se as ligações possíveis e apresentou-se uma proposta que visa dar seguimento ao trabalho exposto no terceiro capítulo, procurando estabelecer uma ligação que permita uma continuidade dos ficheiros gerados pelos programas utilizados.

No quinto capítulo, pretendem-se analisar as questões económicas e outras igualmente importantes que resultam das alterações introduzidas nos processos de produção. Faz-se uma comparação entre o método tradicional de corte e dobragem de armaduras em estaleiro com o método industrializado e feito em fábrica por máquinas automatizadas. Para obtenção destes resultados recorreu-se a estudos já efetuados sobre esta questão, apresentando as principais conclusões e resultados, tendo os mesmos sido também colocados à disposição das empresas portuguesas que mostraram disponibilidade para tal.

Para terminar a presente dissertação apresenta-se no sexto capítulo uma síntese do trabalho desenvolvido, referindo as principais conclusões retiradas e possíveis desenvolvimentos futuros a realizar como forma de continuação do trabalho desenvolvido nesta dissertação.

2 ESTADO DA ARTE

2.1. BIM

2.1.1. DEFINIÇÃO

No domínio de atividade onde a engenharia civil se insere, a implementação de tecnologias de informação (TI) no processo produtivo, em particular a utilização de modelos de informação da construção (BIM), constitui uma verdadeira mudança de paradigma numa indústria que historicamente tem sido resistente à mudança (Ferreira et al. 2012). Contudo, é de consenso geral que a indústria de AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) necessita de melhorar a sua forma de trabalho para obter um método de trabalho comum a todas as entidades visando assim uma otimização de todo o ciclo de vida de um edifício.

BIM é atualmente a denominação mais comum para uma nova forma de abordar o desenho, construção e manutenção de edifícios (Bryde, Broquetas, and Volm 2013). Apesar de serem várias as definições e palavras-chaves que se associam ao *Building Information Modelling*, deve ser claro que não se trata simplesmente do uso de um *software* mas sim de um conceito e forma de trabalhar que tem como objetivo principal a obtenção de um projeto central. Isto levou a que se percebesse a importância em abandonar a simples representação de elementos através de linhas, formas e texto, e se passasse a representar um modelo como uma associação de elementos individuais, através de uma modelação orientada por objetos (Gequaltec 2011). É por esta razão que o BIM é referido como um modelo baseado em objetos, em que todos eles devem ter as suas propriedades bem definidas, permitindo gerar ligações entre eles e obtendo assim um modelo global.

Como o desenho e a comunicação na construção consistem na transação de ideias entre representações 2D e a realidade num espaço 3D, o BIM permite que a visualização, compreensão e construção tenha lugar nas mesmas dimensões 3D. O BIM promete ultrapassar as correntes limitações do sistema onde a comunicação existe através de diagramas 2D e texto (desenhos e especificações), e onde a introdução das aplicações de CAD não causaram mudança no processo essencial, uma vez que as mesmas vistas e texto são ainda usados como instruções para edifícios complexos (Grilo and Jardim-Goncalves 2010). Usando *softwares* como o Autodesk Revit ou o Tekla Structures, as entidades admitem que existe efetivamente uma redução dos erros na projeção e desenho e há uma maior facilidade em criar peças desenhadas. Em projetos complexos a quantidade de peças aumenta assim como a necessidade de criar soluções mais económicas, e o BIM demonstra dar resposta a essas necessidades.

Desenvolvimentos teóricos em *Building Information Modelling* sugerem que este não só é vantajoso para a modelação geométrica de um edifício como também pode ajudar na gestão de projetos de

construção (Bryde, Broquetas, and Volm 2013). Ele permite uma interação entre cada membro individual, como também possibilita a compreensão coletiva das exigências e restrições do projeto (Grilo and Jardim-Goncalves 2010). Esta é uma questão fulcral quando se fala em BIM, porque o objetivo é ter um projeto comum em que as diferentes entidades vão pormenorizando e aperfeiçoando todos os objetos necessários à medida que se avança pelas diferentes fases do ciclo de vida de um edifício.

A abordagem para desenvolver um modelo 3D com as informações do projeto é, pela natureza do edifício e processos do ciclo de vida de engenharia, uma elaboração progressiva, com diferentes funções e vantagens derivadas. Especificamente, o BIM pode suportar ambientes colaborativos de trabalho para permitir: i) ao proprietário desenvolver um conhecimento atual da natureza e necessidades do projeto; ii) a conceção, desenvolvimento e análise do projeto; iii) a gestão da construção do projeto, e iv) a gestão das operações do projeto durante o seu funcionamento e desativação (Grilo and Jardim-Goncalves 2010).

2.1.2. IFC

Enquanto as aplicações baseadas em modelos geométricos já estão bastante difundidas na indústria da AEC, dificultando assim a entrada de novas aplicações com a consequente limitação à inovação, a necessidade de um modelo de dados específico para a construção constitui uma nova realidade (Silva 2013).

O principal formato de troca de ficheiros para BIM são os IFC (*Industry Foundation Classes*) (Redmond et al. 2012). Para que todas as entidades envolvidas no ciclo de vida de um projeto consigam comunicar entre si de forma eficaz, a existência de um sistema comum a todos resolve parte desta questão. Promovido pelo IAI desde 1995, o modelo IFC é uma linguagem em formato aberto, compatível com várias aplicações BIM, permitindo uma padronização do processo construtivo (Eastman (2009)), (McGraw_Hill 2007).

O IFC é a plataforma mais universal e aberta para a troca de dados, e será a ferramenta de comunicação e transferência para a indústria. Como projeto de colaboração internacional, aborda todas as barreiras entre *software* e fins, e a sua evolução estabelece a formatação de dados e protocolos de aplicação na informação que irá unir todas as entidades, para um entendimento comum acerca de práticas gerais de negócio em que cada ator, no processo de entrega do projeto, desempenha um papel crucial e pode ganhar benefícios com ele (McGraw_Hill 2007).

O IFC deve suportar a interoperabilidade entre indivíduos e aplicações de disciplinas específicas usadas para desenho, construção e atuação em edifícios através da captura de informações sobre todos os aspetos de um edifício durante o seu ciclo de vida (Khemlani 2004). Num fluxo IFC os dados são extraídos da base de dados da fonte e atribuídos às respetivas instâncias IFC, presentes no conversor e guardadas num formato neutro. Os problemas associados a este processo não estão associados à sua mecânica ou à qualidade dos conversores mas antes às restrições impostas pelas diferentes dimensões das bases de dados dos modelos proprietários e do modelo IFC (Gequaltec 2011).

O modelo IFC não pode oferecer interoperabilidade por si só - os criadores do software devem fornecer interfaces para o modelo, de modo a que o seu software possa criar um "projeto modelo" que defina um determinado edifício e, em seguida, partilhar ou trocar as informações nele contidas (Bazjanac and Crawley 1999).

2.1.3. INTEROPERABILIDADE

A interoperabilidade tornou-se conhecida como um problema no setor de AEC devido às muitas aplicações e sistemas heterogéneos tipicamente usados pelas diferentes entidades, juntamente com a dinâmica e capacidade de adaptação necessárias para operar no setor (Grilo and Jardim-Goncalves 2010). Em 2007, o relatório de McGraw Hill, SmartMarket, sobre interoperabilidade afirma que em média, 3,1% do custo de todos os projetos é desperdício devido à falta de interoperabilidade (AIA 2009).

De uma vista baseada totalmente na tecnologia, a interoperabilidade é a capacidade de gerir e comunicar produtos e dados do projeto eletronicamente entre as empresas colaborativas. Para além da tecnologia, também pode ser definida como a implementação e gestão de empresas colaborativas entre membros de equipas interdisciplinares da construção que permite integrar o projeto de execução (McGraw_Hill 2007). Uma comunicação eficaz entre as parcerias traz vantagens tanto a nível de execução (reduzindo o número de erros em projeto e execução), como também permite uma melhor continuidade dos projetos, em que o seu encadeamento decorreria de forma sequencial e bem definida. O facto de as diferentes entidades usarem diferentes *softwares* também é tido em conta, uma vez que cada agente deve trabalhar na plataforma mais apropriada para a sua respetiva função. Contudo, ao fazer as plataformas de *software* se interligarem umas com as outras de forma inteligente vai poupar à indústria não apenas tempo e dinheiro na criação de modelos, como também no tempo e dinheiro na construção e fabricação (T.Dean; et al. 2010).

Isto permite determinar a vertente da Interoperabilidade como um importante auxílio entre agentes do projeto. Havendo um modelo base em que todas as entidades se baseiam, a comunicação e a passagem de fase para fase deverá ocorrer sem problemas porque a passagem será sucessiva, completando-se naturalmente. Ao definir o que cada entidade realizará e a forma como o fará, permite um bom entendimento entre as entidades.

A interoperabilidade cria a possibilidade de um mais eficiente, e portanto rentável, modelo de negócios que permite uma troca e partilha sólida de dados entre os participantes do projeto.

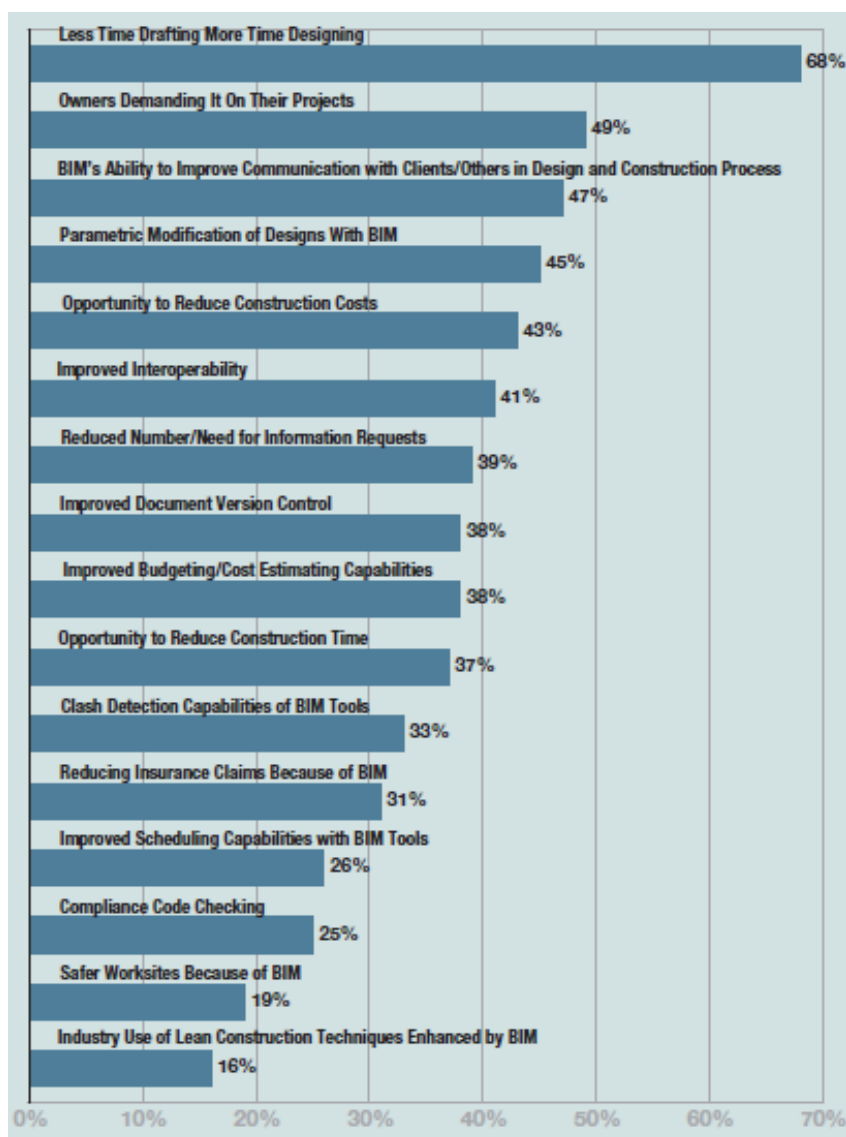


Figura 2 – Fatores que influenciam o uso de BIM (McGraw_Hill 2007).

2.1.4. LOD – REGRAS DE MODELAÇÃO

Para que um projeto modelado com BIM seja bem realizado, é compreensível que existam regras que ajudem na interação de todas as partes envolvidas e que definam e identifiquem o trabalho de cada indivíduo. Neste contexto surgem os LOD (*Levels of development*), criados pelo AIA, sendo um método que define a maturidade e plenitude de um BIM nas diferentes etapas do projeto. São geralmente definidos como uma série de letras ou números progressiva, com uma quantidade de informação crescente em cada passo (Jr., Erik Kneer, and David Mykins 2011).

Os níveis de detalhe variam entre o nível mais baixo (100) de aproximação conceptual e o nível mais elevado de precisão representacional (500) (Porwal and Hewage 2013). Segue uma breve explicação proferida pelo Council of American Structural Engineers White Paper em que os diferentes níveis de detalhe são expostos individualmente.

- **LOD 100** – Este modelo básico pode ser adotado ao nível do Projeto Esquemático que fornece informação sobre as massas e volumes. Com apenas a informação mais básica disponível o uso prático deste tipo de modelo é limitado à revisão da disposição básica dos espaços, cálculo de volumes e áreas e orientação dos espaços. Pode ainda existir informação suficiente para uma estimativa geral do planeamento do projeto e a sua duração. Os engenheiros de estruturas podem preparar os modelos em LOD 100 usando massas básicas apenas, como lajes uniformes com uma espessura genérica que represente as vigas suportadas por paredes e pilares genéricos;
- **LOD 200** – Este modelo é um pouco mais desenvolvido. Tem, em geral, informação suficiente para permitir uma análise básica do sistema estrutural, nomeadamente através da exportação para ferramentas específicas de cálculo automático de estruturas. Alguns elementos do modelo podem incluir informação não geométrica que possa ser usada para a estimativa de custos. O modelo pode incluir uma aparência escalada no tempo dos elementos principais com o intuito de assistir o faseamento e o planeamento da obra;
- **LOD 300** – Neste nível de desenvolvimento deverá existir informação suficiente para a preparação dos documentos tradicionais da construção ao nível de projeto de execução. Os elementos podem incluir informação adicional não geométrica que pode ser usada pela equipa de projeto ou construção. Este modelo pode ser usado para criar modelos analíticos para o projeto de estruturas, podendo também ser usado como base para a preparação de desenhos para fornecedores, e para a compilação de mapas de trabalhos e quantidades da obra e estimativa de custos para a construção;
- **LOD 400** – Neste nível o modelo deve incluir detalhes adicionais e todas as estruturas primárias e secundárias de suporte. Deve conter informação completa sobre a fabricação, montagem ou construção. Deve ser uma representação virtual da estrutura que pode ser usada durante a construção. É possível fazer uma estimativa de custos detalhada baseada nos elementos do modelo. O planeamento detalhado pode ser conseguido mostrando uma aparência escalada de elementos específicos;
- **LOD 500** – Todos os elementos e sistemas são modelados de acordo com a construção e precisos em todos os detalhes. Este modelo tem os mesmos propósitos do LOD 400 mas pode ser usado para a manutenção quando assim autorizado. Alguns clientes podem exigir modelação para COBie no LOD 500 para a gestão e manutenção de edifícios mas este normalmente não é requerido para o sistema estrutural.

2.1.4.1. ESTABILIDADE DE PARCERIAS

As definições de LOD podem ser usadas para duas situações: identificar os resultados finais de cada fase do projeto, e distribuir as tarefas de modelação (Bedrick 2008). OS LOD devem ser acordados com a equipa projetista antecipadamente no cronograma do projeto (de preferência antes que o dimensionamento se inicie), e deve ser feito com base nos objetivos do projeto em geral (Jr., Erik Kneer, and David Mykins 2011). É fundamental que a extensão e o nível de detalhe a modelar sejam definidos e que todas as partes envolvidas percebam o que é esperado delas (Staub-French et al. 2011).

Conhecer a capacidade do *software* e *hardware* e as suas capacidades de desempenho de antemão é importante para permitir aos engenheiros determinar o nível de detalhe e o número máximo de submodelos que podem ser utilizados (Tsai, Kang, and Hsieh 2010). O domínio das ferramentas levanta também a questão do tempo necessário que cada entidade precisa para executar as suas funções. Diferentes métodos de entrega provocam alterações nas entregas de projeto e nas

responsabilidades das partes envolvidas, o que altera consideravelmente as transferências de cada etapa para cada área envolvida no projeto (Venugopal et al. 2012). Para cada LOD, o tempo necessário para elementos ou sistemas vai depender diretamente da estratégia do projeto de execução para o projeto em causa, sendo as entregas e prazos diferentes consoante a solução de realização da obra (Robert L. Neary et al. 2010).

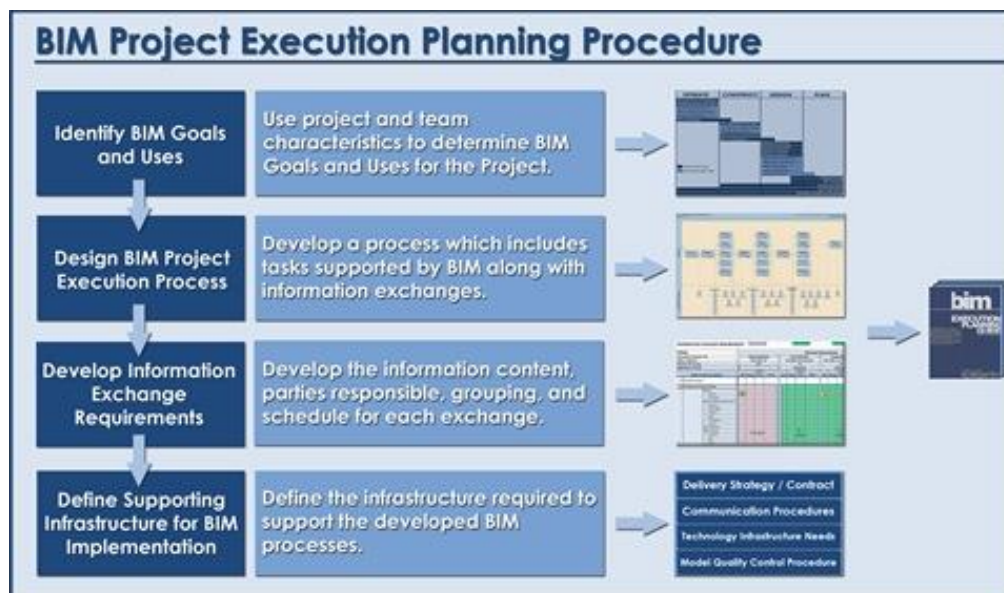


Figura 3 – Planeamento do projeto de execução em BIM esquematizado num guia elaborado por Pennsylvania State University, 2009.

2.1.4.2. RESPONSABILIDADE CONTRATUAL

O BIM requer mudanças drásticas na organização do trabalho com o cliente, bem como informações importantes nas relações jurídicas e de partilha de responsabilidades. Isto não poderá ser alcançado sem redefinir as práticas de trabalho (Staub-French et al. 2011).

O uso de BIM num projeto levanta importantes questões contratuais relativas às responsabilidades e riscos do projeto, indenizações contratuais, direitos autorais e uso de documentos que não são redigidos no formato padrão da construção. Isto, potencialmente, é uma das grandes preocupações que impedem a rápida adoção do BIM. A inexistência de um padrão de documentos dos contratos com BIM e a questão de usar o BIM como uma plataforma de trabalho colaborativo são duas questões importantes para a sua adesão completa (Porwal and Hewage 2013). Os contratos deverão definir a integração ou separação de riscos e responsabilidades para as entidades contratadas para o dimensionamento e construção. Portanto, deve ser tomado em conta o nível de desenvolvimento e a divisão de responsabilidades consoante o número de gestores do BIM. Da mesma forma, o risco contratualmente definido irá igualmente determinar se há separação entre a parte de dimensionamento e a de construção em modelos BIM, ou se serão combinados num único modelo (Robert L. Neary et al. 2010).

A elaboração de elementos de projeto com o grau de desenvolvimento compatível com os processos CAM exige atualmente o dispêndio de um esforço adicionador por parte do projetista, ou preparador,

que terá de ser considerado no cálculo de honorários. Pretende-se, contudo, limitar este acréscimo de esforço através da utilização de ferramentas e processos BIM.

2.2. DA MODELAÇÃO AO FABRICO

2.2.1. DESENHOS DE PREPARAÇÃO

A produção direta de desenhos 2D e de documentos a partir de modelos coordenados de armaduras em 3D é extremamente importante para melhorar a produtividade e reduzir os erros de documentação, aperfeiçoando a consistência entre o projeto e todos os desenhos detalhados.

A criação de desenhos de preparação a pronto, principalmente para desenhos de armaduras de betão armado e desenhos de betão pré-fabricado, muitas vezes requer ajustes manuais demorados e maior acréscimo de informação. Esses desenhos devem conter tabelas de quantidades e informações adicionais acerca dos varões, e devem ser legendados com símbolos, textos, dimensões e marcas (Aram, Eastman, and Sacks 2013). Fornecer desenhos com toda esta informação incluída torna difícil manter um *layout* correto e automático e um adequado nível de visibilidade e clareza para todas as informações, exigindo assim ajustes manuais. Considerando o elevado número de armaduras introduzidas nos projetos, é importante que as empresas BIM melhorem a produção automática da colocação completa das armaduras e os respetivos desenhos de preparação, minimizando a necessidade de uma intervenção manual (Aram, Eastman, and Sacks 2013).

2.2.2. CAD/CAM

O CAD/CAM corresponde a um sistema de computadores que tem a capacidade de desenhar e fabricar produtos. Enquanto o CAD é o uso da tecnologia computacional para o processo e documentação de desenho, os sistemas CAD/CAM são usados tanto para desenho de um produto como para o controlo de fabricação do mesmo (Autodesk Consultado em 04/2013).

Estes sistemas já são desenvolvidos há vários anos sendo os progressos visíveis, principalmente em como lidar com os complexos dados geométricos de um produto durante o seu ciclo de vida. No sistema integrado CAD/CAM, que apoia o desenvolvimento colaborativo, um recurso é considerado como uma unidade básica de modelo e processamento; de seguida, o modelo de definição de produto, que expressa integralmente informações acerca das tecnologias e gestão da produção, é construído e um sistema de gestão de dados é usado para efetivamente gerir e operar os produtos (Wang and Zhang 2002).

As geometrias nos desenhos CAD são utilizadas pela porção de CAM no programa para controlar uma máquina que gera a forma exata que foi desenhada. O objetivo da integração do CAD/CAM é assegurar a coerência do dimensionamento, durante o processo de desenho do produto até a fabricação do produto, e fazer com que a informação seja diretamente transmitida entre os computadores, agindo como uma ponte sobre as falhas de transmissão de informação causada pelo desenho e linguagem (Wang and Zhang 2002).

Num ambiente de trabalho colaborativo, o pessoal envolvido vem de departamentos com funções diferentes, incluindo gestão, processo de planeamento, fabricação, distribuição, serviços e assim por diante. Várias pessoas estão preocupadas com diferentes informações, direta ou indiretamente fornecida pelo modelo de definição do produto. Assim, a modelação do produto é uma das principais tecnologias de integração CAD/CAM. Uma vez que existem grandes diferenças entre o desenho do

produto e o seu processo de fabricação, é necessário fornecer um modelo de definição uniforme do produto e um sistema de gestão de dados para apoio à comunicação em tempo real e à cooperação entre os vários engenheiros para cada fase de desenvolvimento do produto (Wang and Zhang 2002). Para um bom ambiente de trabalho e uma melhor colaboração entre as entidades envolvidas, é importante assegurar uma boa ferramenta de comunicação e usar uma linguagem padrão para os elementos a serem transferidos.

2.2.3. EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA DA ARMADURA

A inovação das tecnologias de construção veio causar drásticas revoluções na prática da construção. Nos inícios do século XX, as tecnologias do aço estrutural foram inventadas e introduzidas na indústria da construção, o que desencadeou uma segunda onda de revolução para as tecnologias de construção. Contudo, durante os anos 70, a indústria da construção sofreu uma baixa na produtividade, inspirando assim uma nova geração de inovação na construção (Yu et al. 2012).

A necessidade de gerar um produto eficaz mas ao mesmo tempo conseguindo obter lucro na sua produção fez com que surgissem novas ideias e formas de trabalho. A indústria de aço estrutural começou então a realizar novas e avançadas iniciativas de TI que lhes permitiam reduzir os custos de fabricação e de tempo de entrega (Eastman, Sacks, and Lee 2003). Durante um período de análise (1992-2002), os avanços de produtividade foram conseguidos através de avanços na tecnologia de produção, melhores métodos de gestão tais como *Lean Production* e adoção de diversas formas de tecnologia da informação. Os impactos das TI são tanto indiretos (melhoria da produtividade na contabilidade, facturamento e encomendas) como diretos (em engenharia e facilidade das tecnologias de produção) (Eastman and Sacks 2008).

Como sugerido por diversos investigadores anteriormente, uma inovação radical na tecnologia da construção fornece uma solução promissora para enfrentar os desafios futuros da indústria da construção civil (Yu et al. 2012). Neste contexto, surge o conceito de fabricação de armaduras de forma automática, desde a sua produção ao corte e dobragem. O aço pode ser fabricado no local ou pré-fabricado em conjuntos numa fábrica de aço, transportados para o local e erguidos (Eastman and Sacks 2008). Com a segunda opção, todo este processo deixa de ocorrer no estaleiro da obra e passa a ser um procedimento realizado de forma automática, sendo vantajoso em termos económicos e de gestão.

Hoje, a preparação das armaduras em fábricas permite que as peças sejam pré-cortadas e montadas em grandes quantidades, antes de serem transportadas para o local. Estas são, de seguida, erguidas utilizando gruas e guindastes, e aparafusadas ou soldadas no seu respetivo lugar (Eastman and Sacks 2008). Esta hipótese, em que a construção é fora do estaleiro, tem a capacidade de utilizar tecnologias de produção, permitindo que as diversas partes da indústria da construção aumentem significativamente a sua produtividade, enquanto muitas dessas tecnologias seriam difíceis de adaptar para aplicação na obra.

2.2.4. VANTAGENS DOS AVANÇOS TECNOLÓGICOS

Face às necessidades que a indústria da construção enfrenta nos tempos de hoje, o surgimento de inovações que visam o melhoramento das condições de trabalho são fundamentais. Inseridas neste ambiente, as empresas viram-se forçadas a reduzir os custos dos seus produtos, partindo para alternativas que pedem criatividade, empenho e procura do conhecimento (Praça and Neto 2001).

A evolução da construção passa pelo uso cada vez mais frequente dos recursos informáticos no auxílio do corte e preparação de armaduras. Os avanços da tecnologia permitem eliminar os desperdícios, que por vezes possuem uma percentagem elevada nos gastos totais de uma obra, conseguindo assim uma maior produtividade e qualidade, para além de uma economia nos custos.

A fabricação de reforços para o betão em geral, passa pelo processo de dimensionamento, detalhe, revisão dos desenhos de preparação, fabricação, transporte, armazenamento local e, finalmente, a colocação. A estas atividades terá de ser associado um tempo de espera entre o pedido dos varões aos fabricantes e a colocação das barras. A eliminação do tempo de espera para os pedidos de armadura exige que o corte e dobragem de varões precedam diretamente a colocação. Este requisito tem implicações sobre a logística, bem como na própria fabricação (Bernold 1991).

A tecnologia para dobrar automaticamente armaduras pode mudar dramaticamente o processo tradicional de fabricação de varões, aumentando a qualidade da dobragem, bem como a produção *just-in-time* e, a entrega, aumentando assim o ritmo de colocação das armaduras (Dunston and Bernold 1993).

Carregamentos curtos, atrasos nas entregas, e outros tipos de erros são muitas vezes causados por mudança de ordens e falta de comunicação adequada entre engenheiros, empreiteiros e fabricantes, resultando em soluções *quick-fix* (Bernold 1991). Este tipo de situações deixaria de ocorrer com recurso aos desenvolvimentos tecnológicos no campo das armaduras.

O fluxo de informações através dos escritórios dos engenheiros, fabricantes e construtores deve continuar tanto para a oficina de fabricação como para a obra, onde essa informação pode ser utilizada para melhorar a produtividade, qualidade e segurança. Esta informação poderá ser então empregue no controlo automático em tempo real dos processos de construção (Dunston and Bernold 1993).

A automação completa neste processo garante ao serviço precisão nos cortes de ferro e a possibilidade de diversos formatos e medidas. O produto é entregue conforme a necessidade do cliente e o andamento da construção. Cada varão cortado e dobrado possui uma etiqueta com informações detalhadas das suas características técnicas, formato, medidas e o seu posicionamento na estrutura. Em relação a outros benefícios inerentes ao sistema industrializado, destaca-se:

- Ganho de espaço nos estaleiros de obras proporcionado pela eliminação de bancadas de corte e dobragem;
- Formação de um ambiente mais limpo, organizado e seguro, em decorrência da diminuição da quantidade de entulhos gerados pela inexistência de sobras;
- Diminuição do número de acidentes de trabalho;
- Redução do uso de ferramentas e equipamentos para trabalhar o aço;
- Simplificação da gestão do serviço de execução de armaduras, provocada pela eliminação de inúmeras tarefas presentes no sistema tradicional;
- Diminuição em 40 % da mão-de-obra utilizada em relação ao sistema tradicional;
- Garantia de uma maior qualidade do serviço, já que a fornecedora detém equipamentos de precisão bem superiores àqueles encontrados nos estaleiros (Praça and Neto 2001);

2.2.5. POTENCIALIDADES DO BIM

Já foi testado e comprovado por várias entidades que a produção em fábrica de elementos de construção torna o trabalho mais produtivo, em contraste com os resultados quando essa atividade é realizada em obra. Não só eles têm um maior nível atual de produtividade do trabalho, como a sua taxa

de crescimento da produtividade global é maior do que a de outros setores comparáveis em obra (Eastman and Sacks 2008).

A componente principal do aumento da produtividade no fabrico foi a aplicação de tecnologias de informação (Eastman and Sacks 2008). A indústria precisa de reduzir o uso de baixa tecnologia e aprender a tirar proveito das práticas das TI mais semelhantes às usadas na indústria de fabrico (Teicholz 2013).

Para o desenvolvimento de um modelo inovador de tecnologia automatizada é necessário definir uma linguagem padrão, para definir as características de uma tecnologia alvo. Para este efeito, as características da tecnologia devem ser traduzidas num modelo que seja operacional para a inovação do *computer-aided* (Yu et al. 2012).

O uso de BIM apoia uma maior utilização da pré-fabricação fora da obra e o uso de elementos fabricados (concebidos para a obra) a serem integrados no processo de dimensionamento e de construção (Teicholz 2013). As ferramentas BIM devem ter um papel mais importante no projeto de otimização dos elementos de betão armado. Os sistemas devem ser capazes de verificar automaticamente várias opções de colocação de armaduras com base em parâmetros definidos pelo utilizador que refletem restrições do projeto, classificar as soluções e recomendar as melhores para os modeladores (Aram, Eastman, and Sacks 2013).

Reforçar as capacidades das ferramentas do *software* BIM e adotá-las para a criação de informação, colaboração e plataformas de tomada de decisões durante todo o processo de fornecimento de reforços pode melhorar consideravelmente o desempenho dos projetos de betão armado, fornecendo informações mais ricas e precisas, integrando e reutilizando informações criadas por diversas fontes e adicionando o comportamento inteligente de objetos de reforço (Aram, Eastman, and Sacks 2013).

2.3. NORMAS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Os potenciais benefícios do BIM resultarão da padronização de toda a indústria (Kim and Seo 2010). Para uma melhor obtenção dos resultados pretendidos, é fundamental a colaboração de todas as partes envolvidas, não sendo suficiente a estandardização por parte de cada indivíduo, mas sim por todas as entidades que fazem parte da indústria da construção. Ainda assim, os desenvolvimentos das ferramentas comerciais de *software* e padrões (sistema de controle de qualidade BIM e diretrizes BIM) forneceram aos investigadores, profissionais e organizações públicas diversas oportunidades de forma a aplicar o BIM nos projetos reais (Kim and Seo 2010).

Várias normas foram formuladas e adotadas por diversos países como o Reino Unido e os Estados Unidos da América. A tendência para a padronização dos processos de dimensionamento e construção e os desenhos de construção levaram à elaboração e especialização das normas. Por essa razão, é crucial que os pacotes de *software* BIM que suportam estruturas de betão armado acomodem as especificações dos Eurocódigos nacionais e internacionais e as regras de dobragem impostas pelas normas relativamente às armaduras (Aram, Eastman, and Sacks 2013).

Estas normas têm a função de especificar os requisitos para a programação, dimensionamento, dobragem e corte do aço de reforço. O padrão de modelação define como transmitir os requisitos para corte e dobragem do desenhador para o empreiteiro e o fabricante de armaduras.

2.3.1. CASO DO REINO UNIDO

No Reino Unido, a fabricação de elementos de reforço como os varões ou estribos é feita maioritariamente em fábricas e não em estaleiro (Cares 2011). Apesar de não ser uma prática verificada na maior parte dos países, é o que acontece neste país cada vez mais. Neste contexto, surgiu a necessidade de criar melhores formas de organizar as informações associadas a todos os parâmetros que definem as armaduras e ainda assim respeitar-se o Eurocódigo 2. Foi com o recurso a tabelas pormenorizadas que agrupam os códigos de formas, correntemente denominados por *shape codes*, doravante designadas por códigos de formas, que um método de trabalho foi criado. Estes códigos distinguem a forma de cortar, dobrar e organizar todo o tipo de armaduras. Atualmente é o conjunto de tabelas (definidas na BS 8666: 2005) que está a ser utilizado, sendo o mais recentemente publicado (ver anexo 2). De forma a existir rigor e controlo sobre a forma como as armaduras são produzidas em fábricas, existem entidades cuja função é controlar esse mesmo processo, em que verificam a qualidade de todo o processo de fabrico e asseguram que as armaduras produzidas cumprem os requisitos impostos pelas normas e padrões. Um exemplo de uma entidade destas é a CARES, sendo uma empresa independente mas direcionada exclusivamente para a indústria da construção. Apresentam-se de seguida dois exemplos de códigos de formas existentes e em anexo encontra-se disponível para visualização, a tabela com todos os códigos de forma *standard* presentes na BS 8666:2005 (ver Figura 4).

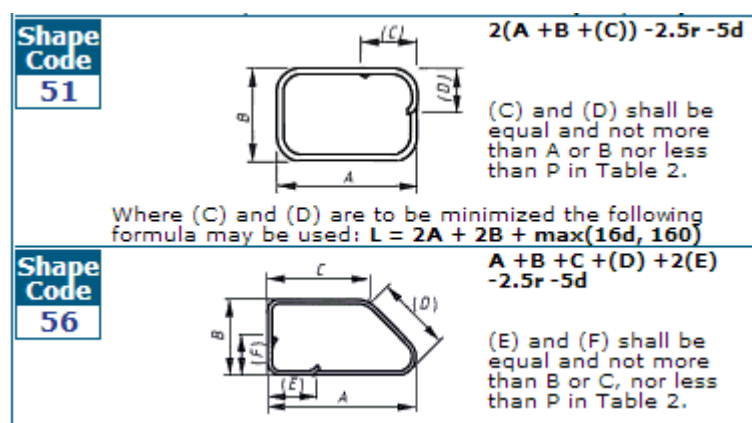


Figura 4 – Códigos de forma 51 e 56, com respetivo esquema e parâmetros, presentes na BS 8666:2005.

2.3.2. CASO DOS EUA

Não só o Reino Unido teve o cuidado de desenvolver uma norma aplicável às armaduras. Os EUA desenvolveram a norma ACI 315 – 99, que fornece padrões práticos tanto para os arquitetos como para os engenheiros e ainda fornece detalhes para o projetista relativamente à colocação de reforços de armaduras. Para além disso, esta norma define as responsabilidades a atribuir ao arquiteto, engenheiro ou projetista. Por último faculta também certos padrões para a realização de desenhos das estruturas e de preparação.

Este documento é de grande utilidade uma vez que auxilia e guia os profissionais para uma melhor execução de certas tarefas, no âmbito das armaduras. Desta forma, não só as tarefas e responsabilidades estão bem estipuladas desde início como a forma de apresentar as informações segue um padrão, o que permite uma melhor interoperabilidade entre entidades.

2.3.3. CASO DE PORTUGAL

Em Portugal, encontra-se disponível a EN ISO 3766: 2003 que aborda os desenhos de construção e a representação simplificada de armaduras para betão armado. Assim, neste documento encontra-se disponível um conjunto de formas de dobragem de armadura. Contudo, para o desenvolvimento deste trabalho, perante as formas apresentadas pela norma britânica da mesma natureza, em que é maior o número de formas normalizadas, usou-se esta como referência sempre que aplicável.

2.4. MÁQUINAS DE CORTE AUTOMÁTICO

Grandes inovações foram feitas nas máquinas automatizadas de produção de armaduras (Aram, Eastman, and Sacks 2013). Até algumas décadas atrás, o fabrico de varões foi sempre feito no local. Este processo é trabalhoso e, consequentemente, caro. Como a indústria de construção começou a mover-se em direção a métodos mais industrializados, o fabrico de armaduras também começou a adotar métodos mais automatizados. O primeiro passo foi fazer avançar o processo de fabrico para fora do local de obra e, portanto, para fábricas especializadas, que fornecem as barras de ferro de acordo com as ordens de compra (Navona, Rubinovitzb, and Cofflerc 1994).

As novas máquinas apresentam uma alta velocidade de fabrico e são fortemente automatizadas, ajudando a melhorar a economia de produção e ainda a utilização de elementos de armação pré fabricados. O desenvolvimento de códigos e padrões para a dobragem dos varões foi mais um passo importante para melhorar a produtividade da cadeia de fornecimento de armaduras (Aram, Eastman, and Sacks 2013).

O processo de produção de varões começa com o desenho do elemento de betão armado e termina com a sua fabricação (cada vez mais com máquinas CNC) (Navona, Rubinovitzb, and Cofflerc 1994). Os dados são programados pelo operador de antemão de acordo com os detalhes nos desenhos de preparação que normalmente são preparados mais cedo no gabinete do fabricante. A justificação para tais máquinas é essencialmente económica sendo também influenciada pelo facto de que se torna cada vez mais difícil recrutar trabalhadores qualificados, e existe uma necessidade crescente de fornecimento just-in-time e uma maior precisão é necessária (Navona, Rubinovitzb, and Cofflerc 1994).

2.4.1. DO DESENHO À PRODUÇÃO

O processo de desenho convencional é cada vez mais realizado com o auxílio de computadores (análise e programas gráficos). O produto final desta fase são os desenhos de preparação que detalham o elemento de betão e o seu reforço em armadura, em planos, alçados, cortes e detalhes (Navona, Rubinovitzb, and Cofflerc 1994).

Contudo, os desenhos já não são o repositório de informações do projeto, mas são sim simples relatos de informações do projeto, e a sua produção é quase totalmente automatizada. Os desenhos e documentos tradicionais são um meio para comunicar as informações necessárias para agilizar o processo de construção, mas não são as informações em si e não têm qualquer valor intrínseco para o usuário final de um edifício (Sacks and Barak 2008).

O novo conceito de dobrar e cortar armadura, baseia-se na fusão das vantagens proporcionadas por sensores eletrónicos, motores controlados por computador e comunicação de dados entre computadores pessoais. O planeamento do processo automatizado para a fabricação de varões deve

permitir a validação automática de um projeto de varões representado em CAD, com o objetivo de desenvolver um programa de produção que se baseia na sequência com que os varões são colocados em obra. Em acréscimo, o plano de fabrico deve fornecer instruções à máquina CNC sobre a forma de cortar e dobrar cada barra (Bernold 1991).

Este processo de fabrico e criação é executado em duas ilhas isoladas de informatização e automação. É necessária uma abordagem diferente e desenvolvimento futuro, a fim de utilizar plenamente o potencial de integração. Na realidade, todos os dados necessários para programar a máquina CNC já existem na base de dados do projeto, e teoricamente, podem ser encaminhados automaticamente para esta finalidade. Assim, todo processo é automatizado - do projeto à fabricação. A comunicação de dados entre os vários módulos pode ser automática permitindo uma maior autonomia do sistema (Navona, Rubinovitzb, and Cofflerc 1994).

A produção de armaduras é uma tarefa corrente, pelo que é adequada para a automatização. As barras são produzidas em quantidades muito grandes, e os respetivos formatos são padronizados e, por conseguinte, limitados em número. Muitos fabricantes podem fornecer linhas de produção totalmente automatizadas para o fabrico de varões. Estas linhas de produção consistem num número grande de máquinas de controlo numérico, que desempenham diferentes partes do processo de produção: corte, alinhamento, e dobragem das barras (Dolinšek and Duhovnik 1998).

As principais vantagens são:

- Após o desenho estar completo, os dados são processados automaticamente pelo computador, poupando, assim, a manipulação manual dos mesmos; A manipulação manual de dados significa, com efeito, ler desenhos e tabelas, processá-los e reescrevê-los num formato diferente; Esta é uma fonte de numerosos potenciais erros humanos; A automatização deste manuseamento e processamento de dados pode reduzir estes erros para zero;
- Poupança em custos adicionais - que são o custo dos materiais e os custos de atrasos na construção; Poupa-se em mão de obra para a manipulação de dados, processamento e programação da máquina de CNC;
- Flexibilidade na estratégia de produção, permitindo que os lotes sejam produzidos por elementos de construção ou qualquer outro critério de classificação;
- Devido à disponibilidade de recursos, é possível encomendar matérias-primas em comprimentos variados, de acordo com a produção real; Isto, juntamente com o processo de otimização, pode reduzir o desperdício de matéria-prima para cerca de zero;
- Melhoria da comunicação entre projetistas, fabricantes e empreiteiros, para evitar erros, especialmente no caso de alterações nos pedidos;
- Ativação de entrega *just-in-time* devido à eliminação de erros e melhoria da comunicação.

2.4.2. MÁQUINAS DE CONTROLO NUMÉRICO (*NUMERICALLY CONTROLLED MACHINES*)

As máquinas de controlo numérico (CN) são grandes máquinas programadas para produzir lotes de peças complexas. Após uma sequência de instruções pré-programadas, as máquinas perfuram, viram, dobram, ou moem muitas partes diferentes em vários tamanhos e formas. Esta tecnologia foi desenvolvida no início dos anos 50 no Instituto de Tecnologia de Massachusetts para encontrar métodos mais eficientes de fabricação de aviões para a Força Aérea dos EUA.

O controlo numérico é definido como a forma de automatização programável, em que o processo é controlado por números, letras e símbolos. No método de controlo numérico, os números formam as

instruções básicas do programa para diferentes tipos de trabalhos, daí que o nome de controlo numérico é dado a esse tipo de programação. Quando o tipo de trabalho muda, as instruções do programa de trabalho também mudam. É mais fácil escrever as novas instruções para cada posto de trabalho, uma vez que o controlo numérico oferece muita flexibilidade na sua utilização (Khemani 2009).

A tecnologia CN pode ser aplicada a uma grande variedade de operações, como elaboração, montagem, inspeção, entre outros, mas é usada de forma mais proeminente para vários processos de manipulação de metais, como torneamento, furação, moagem e moldagem. Devido ao CN, todas as operações de maquinaria podem ser realizadas a um ritmo rápido, resultando em grandes quantidades de fabrico e muito mais baratas (Khemani 2009).

2.4.3. SISTEMA CAD/CAM E AS MÁQUINAS CNC

Antes da produção dos varões moldados, são feitos manualmente planos de produção, os quais são constituídos por várias fases: primeiro as quantidades são calculadas tendo em atenção as secções do elemento estrutural, os diâmetros e as geometrias de dobragem. Depois cada barra é desenhada em detalhe numa etiqueta onde constam também todos os parâmetros de produção, tais como, comprimentos parciais e ângulos de dobragem que são todos calculados e documentados. Posteriormente procede-se à produção propriamente dita, ora manualmente ora através de máquinas CNC (Casaleiro 2010).

(Navon, Rubinovitz, and Coffler 1995) apresentou um sistema CAD/CAM com o intuito de automatizar o processo de moldagem de aço, designado por RCCS (*Rebar CAD/CAM System*). A singularidade deste sistema reside na capacidade de extrair automaticamente da base de dados dos desenhos gráficos (CAD), os dados necessários para a moldagem de varões. Posteriormente os mesmos são processados e transferidos para a máquina de moldagem do tipo CNC. Assim, todas as etapas tradicionais de manipulação manual de dados de projeto e de produção de varões moldados (pormenorização, documentação, extração de dados, etc.) são evitadas (Casaleiro 2010). Em muitos casos, os vários estágios de manipulação manual de dados são uma fonte de erros. Consequentemente, com a transferência de dados automatizada, possível com o sistema CAD/CAM, obtém-se redução de custos, aumento da qualidade e produtividade, a começar pela redução do tempo em que a máquina está inoperacional durante a sua programação. A depuração, isto é, a limpeza de um projeto anterior para se proceder à entrada de outro também é desnecessária, o que não acontece nas máquinas CNC que operam através de processos manuais que consomem tempo, aliado ao facto de também poder ser fonte de erros (Casaleiro 2010).

O sistema tem dois módulos, em que o segundo módulo se subdivide em dois submodelos. O primeiro módulo é o de desenho assistido por computador (CAD), o qual para além do desenho convencional também permite a criação de desenhos semiautomáticos. Deste módulo resultam desenhos e cronogramas para a moldagem dos varões de aço e instruções para a sua montagem no local. Adicionalmente, este módulo atualiza o modelo de construção e a base de dados gráfica. O segundo módulo, designado de interface CN, é aquele que permite a transferência automática de dados a partir do modelo de construção e da base de dados gráfica. O primeiro dos seus dois submódulos é responsável pela extração dos dados; por seu turno, o segundo submódulo tipifica os dados, planeia a produção e processa os dados para um formato transferível para a máquina de moldagem e que possa ser entendido por esta. Assim que os dados chegam à máquina, o ecrã do controlador pede a

confirmação de “OK” ao operador, para que então se proceda à moldagem dos varões de aço com boa precisão (adaptado de (Navon, Rubinovitz, and Coffler 1995)).

Além da componente económica, estão inerentes benefícios, quer diretos quer indiretos, tais como aumento da produtividade, menos trabalhadores envolvidos no processo, redução do desperdício de matéria-prima (aço), redução de trabalho de correção de possíveis erros de produção, encurtamento e consequente aceleração do processo de produção, redução dos custos de produção decorrentes da não necessidade de trabalho em horas extraordinárias, e maior satisfação dos trabalhadores, por desempenharem tarefas com nível de sofisticação mais elevado (Casaleiro 2010).

2.4.4. CLASSIFICAÇÃO DAS MÁQUINAS DE CORTE

De forma a ser possível a classificação das máquinas de corte e dobragem de varões em aço controladas numericamente, é necessário ter em conta diversos fatores, tais como: diâmetro e comprimento dos varões a processar, sistema de abastecimento de matéria-prima, princípios de operação e tipo do produto final.

Estas máquinas poderão ser classificadas como máquinas do tipo A, B ou C, como é apresentado no artigo de (Navon, Rubinovitz, and Coffler 1995). As máquinas do tipo A moldam varões e produzem estribos até 16 mm de diâmetro. O aço é fornecido à máquina em bobinas, a máquina puxa o varão da bobina, endireita-o e dobra-o através da cabeça de dobragem, acabando a operação com o corte, de acordo com o tamanho pretendido. As máquinas do tipo B moldam longos varões de aço até 16 mm de diâmetro, o sistema de abastecimento do aço é idêntico ao das máquinas do tipo A, no entanto estas máquinas dobras os varões em ambas as suas extremidades através de duas cabeças de dobragem. As máquinas do tipo C são diferentes de ambos os tipos de máquinas anteriores, a começar pelo sistema de abastecimento que é feito através de varões de aço discretos colocados manualmente na máquina (contrariamente às outras máquinas que são alimentadas por bobinas). Os varões têm diâmetros superiores a 16 mm e são cortados previamente para o comprimento desejado, pois os varões chegam à fábrica com comprimentos entre os 8 e os 14m, embora a situação mais corrente seja os varões terem comprimentos de 12m por questões de transporte e circulação rodoviária. Tal como as máquinas do tipo B, as máquinas do tipo C também dobras os varões em ambas as extremidades através de duas cabeças de dobragem, cada uma com um rotor e um estator.

Relativamente às máquinas do tipo C, estas obrigavam a uma série de operações manuais uma vez que só a dobragem era feita automaticamente. Consequentemente, houve necessidade de desenvolver este tipo de máquinas para que se tornassem totalmente automáticas. Para tal recorreu-se ao auxílio de sistemas de simulação gráfica (Casaleiro 2010). A automação nas máquinas de corte e dobragem do tipo C desenvolveu-se no sentido de conferir àquela a capacidade de ir buscar automaticamente os varões à zona de armazenagem, de desenvolver o seu corte e dobragem, e para além de isso poder lidar com as sobras dos varões (que têm de ser posteriormente eliminadas) e com o armazenamento temporário do produto acabado (Navon, Rubinovitz, and Coffler 1995).

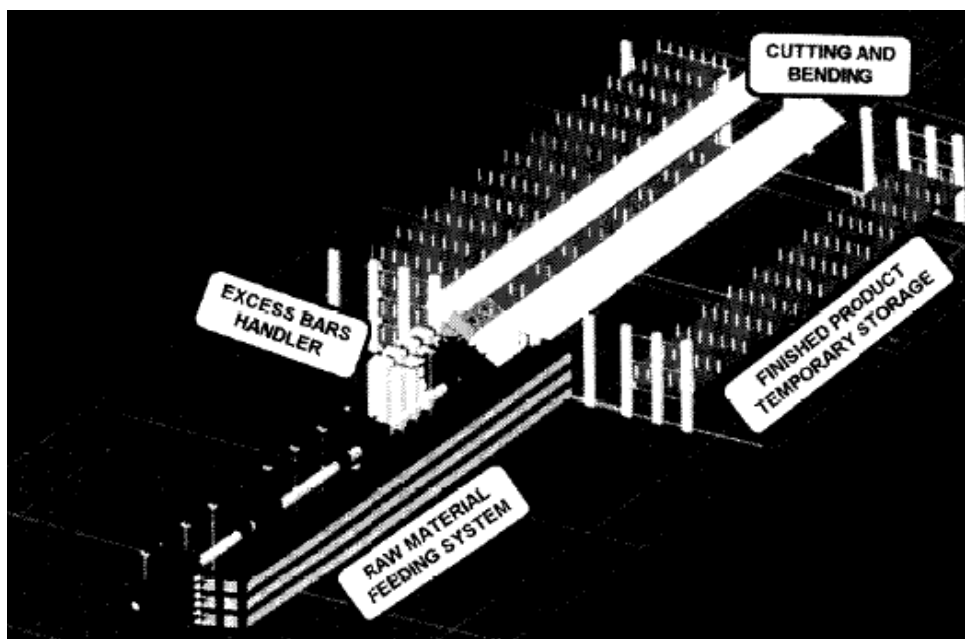


Figura 5 - Esquema geral de máquina de corte e dobragem (Navon, Rubinovitz, and Coffler 1995).

2.4.5. SISTEMA DE FORNECIMENTO DE MATÉRIA-PRIMA

O sistema de fornecimento de matéria-prima estudado por (Navon, Rubinovitz, and Coffler 1995) foi concebido para o fluxo contínuo da mesma. Os varões de grande diâmetro (superior a 16mm) são fornecidos sob a forma de barras discretas de tamanho finito, compreendido entre os 8 e os 14m. Os varões são armazenados em contentores, e o número de contentores é determinado consoante o número de diferentes tipos de varão a ser trabalhados em cada sessão de produção. Destes contentores, os varões são levados para junto da máquina de corte e dobragem. A sequência de abastecimento dos varões depende da estratégia de armazenamento temporário do produto já acabado. Se o pedido à máquina é baseado em elementos estruturais, como vigas, pilares, etc., então todos os varões que constituem esse elemento, incluindo varões de diferentes diâmetros, são reunidos; seguindo-se o seu corte e/ou dobragem. Caso contrário, os varões poderão ser cortados e/ou dobrados de acordo com o tamanho.

Os varões são armazenados nos contentores de acordo com o tamanho e comprimento. Cada contentor tem duas aberturas, uma larga e outra estreita. Os lotes de material são introduzidos na abertura mais larga com o auxílio de um equipamento de elevação de cargas. Por sua vez, o material vai deslizando para a abertura mais estreita devido ao declive existente entre as duas aberturas, que facilita o desliz dos varões, esse declive deverá ter um ângulo mínimo de 20°. Este ângulo deve ser mínimo para que o varão a ser retirado não esteja sujeito a uma pressão elevada e assim a sua saída se torne fácil. Deste modo, quando um varão é apanhado, o varão seguinte desliza para a saída do contentor.

O ângulo de inclinação mínimo é aquele que faz com que um único varão comece a deslizar para a saída do contentor. Para se chegar ao valor do ângulo mínimo foram efetuados cálculos que tiveram em consideração as forças entre os varões, e entre estes e o contentor. Todas estas forças são função do peso dos varões, dos coeficientes de atrito, da geometria do contentor e do ângulo de deslize; tendo-se chegado no final à conclusão de que para um ângulo de 19° se atingia o equilíbrio, consequentemente o ângulo de inclinação mínimo adotado foi de 20°.

O passo seguinte dá-se quando o controlador da máquina recebe o plano de produção decorrente da fase anterior do processo CAD/CAM. O plano de produção inclui a ordem pela qual cada varão é trabalhado. O fluxo dos varões que vão alimentar a máquina é iniciado com um comando que indica qual o varão a ser retirado dum contentor específico e a ser levado para a máquina. Este comando faz com que o contentor avance para a esteira cerca de 20cm, sendo este movimento coordenado com o movimento da esteira, quer em termos de tempo quer de posicionamento. O contentor e a esteira têm ganchos espaçados alternadamente. Desta forma, quando o contentor chega junto da esteira, o movimento ascendente desta puxa o varão seguinte, como pode ser constatado na figura seguinte.

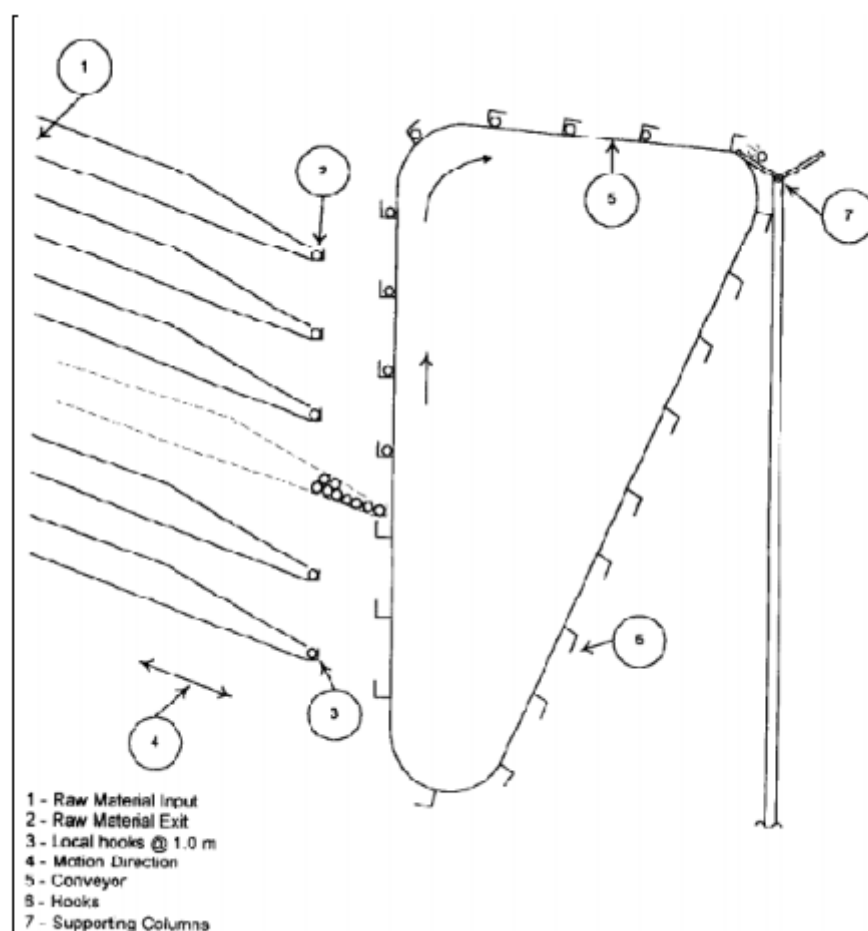


Figura 6 – Sistema de fornecimento de matéria-prima (Navon, Rubinovitz, and Coffler 1995).

Quando este varão sai do contentor o varão seguinte desliza para o gancho, aguardando a sua vez de ser transportado. Se o mesmo tipo de varão (comprimento e/ou diâmetro) é o que será puxado em seguida, então o contentor permanece no mesmo sítio até um diferente tipo de varão ser requisitado. Quando isso acontece, o contentor retorna à sua posição original e outro contentor move-se até à esteira.

Os varões são transportados na esteira até caírem nas colunas de suporte, como exemplificado na Figura 6. As colunas de sustentação suportam o movimento horizontal dos varões à medida que estes vão entrando gradualmente na máquina de corte e dobragem. Na porta de abastecimento existe um

sistema de duas rodas que puxa os varões para dentro da máquina. As colunas têm micro interruptores que quando pressionados indicam a presença de um varão. Enquanto houver um varão nas colunas de sustentação o movimento da esteira é interrompido. Quando o processamento do varão está quase terminado, a grande maioria dos micro interruptores são libertados, o que induz a esteira a iniciar novamente o seu movimento e a ir buscar o próximo varão para moldagem.

Assim que o varão chega ao sistema de sustentação e às duas rodas, estas agarram o varão e começam a rodar. A rotação faz o varão mover-se linearmente até à porta de abastecimento. O sistema que puxa os varões inclui codificadores que contam as rotações das rodas para assim obter uma medida aproximada do movimento linear do varão, contudo dentro da máquina está localizado também um sistema mais preciso de medição que se baseia no livre movimento das rodas. O sistema de puxar varões também pode atuar no sentido contrário quando é necessário eliminar sobras de varão (Navon, Rubinovitz, and Coffler 1995).

2.4.6. SISTEMA DE CORTE E DOBRAGEM

No artigo desenvolvido por Navon, R. [et al.], (1995), a máquina possui duas cabeças de dobragem, meios para o movimento longitudinal, uma mesa, um sistema de puxar e uma cabeça de corte.

A mesa é a estrutura principal deste sistema e possui um trilho no meio que permite o movimento das cabeças de dobragem. As duas funções principais da mesa são as de garantir o suporte ao varão durante a sua dobragem, mantendo-o também na posição correta e de servir de superfície de deslizamento para o varão já moldado quando este é encaminhado para o armazenamento temporário e daí a razão de a mesa ser inclinada.

A dobragem propriamente dita é feita com a cabeça de dobragem saliente em relação ao plano da mesa. O varão entra na cabeça de dobragem e o estator fecha-se (com um movimento relativo na direção positiva e negativa na direção Y) para que assim o varão permaneça estático. De seguida o rotor começa a rodar de acordo com a direção e o ângulo de rotação que permitem chegar à forma pretendida para o varão. A dobragem é um pouco imprecisa devido à recuperação elástica do aço, pois durante o processo de dobragem são desenvolvidas tensões nos varões de aço devido às suas propriedades elasto-plásticas, sendo este o principal obstáculo à boa precisão na dobragem de varões. Contudo, já foram desenvolvidas soluções para este problema através de sistemas de controlo inteligentes.

A dobragem é realizada em duas fases. Primeiramente, o varão é deslocado até à primeira cabeça de dobragem e a primeira dobragem é aplicada; posteriormente o varão é libertado e levado até à próxima posição de dobragem, onde acontece a segunda dobragem na direção oposta. Para concluir a primeira fase, o varão é levado até à posição de corte, onde é cortado segundo o tamanho total desejado. Na primeira fase, realizada pela primeira cabeça de dobragem, o progresso do varão dá-se no sentido positivo do eixo dos XX e o mesmo sucede na segunda fase realizada pela segunda cabeça de dobragem. A segunda fase de dobragem começa quando o varão é movido até à posição de dobragem No. 3 (este movimento pode ser feito ou para trás ou para a frente, dependendo da geometria do varão). Como o varão já está cortado, o seu movimento já não pode ser efetuado pelo sistema de puxar, logo esta tarefa de mover o varão recai sobre a primeira cabeça de dobragem enquanto o varão ainda está apertado, dando-se a dobragem No. 3, a partir da qual o varão já não se movimenta, mas sim a segunda cabeça de dobragem. A tarefa fica completa com a deslocação da segunda cabeça de dobragem para a posição No. 4, onde a dobragem é feita na mesma direção da No. 3, depois move-se até à posição No. 5 e aplica-se uma dobra ao varão na direção oposta (ver figura 7).

Quando a operação é concluída, o varão é libertado, as duas cabeças de dobragem descem abaixo da superfície da mesa e como resultado o varão desliza para baixo, para o armazenamento temporário.



Figura 7 – Exemplo de sequência de dobragem (Navon, Rubinovitz, and Coffler 1995).

2.4.7. GESTÃO DOS DESPERDÍCIOS DE VARÃO

As máquinas do tipo A e B recebem os varões com um sistema de abastecimento contínuo através de bobinas, não existindo o problema de excesso de varão com este tipo de máquinas. No entanto, as máquinas do tipo C, que lidam com varões de grande diâmetro (superior a 16mm) já têm este problema, especialmente se a ordem de produção for baseada em elementos estruturais, uma vez que os varões de comprimento finito são cortados e dobrados a partir de comprimentos padrão. Na grande maioria dos casos, após o corte de todos os varões resultam desperdícios, as quais têm comprimentos inferiores aos desejados para o varão seguinte a ser cortado. Mesmo quando os varões são fornecidos em comprimentos diferenciados continua a haver desperdícios.

Uma das tentativas iniciais para resolver este problema baseou-se na soldadura do final do primeiro varão ao início do varão seguinte antes do primeiro alcançar a porta de alimentação da máquina, contudo este método falhou porque não conseguia cumprir regulamentos quanto a soldaduras em varões de aço para armaduras.

A solução para minimizar os desperdícios de varões passou por otimizar a sequência da produção de varões na fase de CAD, antes da transferência de dados. Mas, embora esta otimização tenha reduzido significativamente o problema, continuou a haver desperdícios de varões, os quais precisavam de ser removidos. Depois de ser feito o último corte no varão, o varão sobranete tem uma das suas extremidades no sistema de puxar, ao passo que a outra extremidade está na coluna de sustentação. Então, antes de ser removido, o varão sobranete desliza para trás até ficar completamente em repouso na coluna de sustentação. Daqui é removido pelo manipulador de desperdícios que tem uma série de alavancas (Navon, Rubinovitz, and Coffler 1995).

2.4.8. ARMAZENAMENTO TEMPORÁRIO DO PRODUTO FINAL

A recolha do produto final, ou seja, dos varões moldados, pode ser feita ou pelo operador da máquina ou por métodos semiautomáticos. Na máquina do tipo C descrita no artigo de Navon, R. [et al.] (1995), foram contemplados meios de armazenamento temporário mecanizados.

Os meios de armazenamento temporário mecanizados consistem num carrinho montado sobre trilhos, o que lhe permite mover-se paralelamente ao eixo dos YY. O carrinho desloca-se da pilha de carrinhos vazios (no sentido negativo do eixo dos YY) até à sua localização debaixo da máquina de corte e dobragem. Quando um varão está terminado e as cabeças de dobragem estão abaixo da superfície da

mesa, os varões deslizam para baixo para os compartimentos de armazenamento. A localização do varão quando cai depende de vários fatores:

- Da posição das cabeças de dobragem antes de serem recolhidas para libertar o varão, determinando assim a coordenada do eixo dos XX;
- Da posição do carrinho relativamente ao eixo dos YY;
- Do ângulo de inclinação da mesa de corte e dobragem;
- Do peso do varão (influenciado pelo seu diâmetro e comprimento);
- Do atrito (que é função do tipo de materiais que compõem a mesa), etc.

Dos parâmetros mencionados acima, apenas dois são usados pelo controlador da máquina para determinar o local da queda do varão, dependendo da estratégia de armazenamento de produto acabado, que deriva do tipo de encomenda. Quando um carrinho está cheio, ele é automaticamente transferido para a pilha de carrinhos carregados e é substituído por um carrinho vazio. Para se conseguir a máxima flexibilidade nesta estratégia de recolha, o carrinho não tem de estar completamente cheio antes de ser substituído o que permite ir enchendo vários carrinhos simultaneamente (Navon, Rubinovitz, and Coffler 1995).

3

PROCESSOS DE MODELAÇÃO DE ARMADURAS EM BIM

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo tem como objetivo a apresentação de um conjunto de processos de modelação no âmbito das armaduras.

O recurso ao BIM como método de trabalho deverá ser uma prática cada vez mais frequente, o que suscita o interesse e necessidade de investigar até que ponto os *softwares* associados deverão ser as ferramentas de trabalho a visar no futuro. Assim, as armaduras são uma parte das estruturas que necessita de ser estudada ao pormenor uma vez que envolve não só a parte de gabinete e projeto, como também influencia uma importante parte da indústria da construção e por último o trabalho em obra. O trabalho minucioso atualmente executado em escritório para a obtenção dos desenhos de preparação de armaduras, pode tornar-se numa tarefa mais prática, tendo em conta as ferramentas disponibilizadas pelo BIM. Assim, é fundamental testar estas capacidades, e perceber como é possível dar continuidade a um projeto estrutural com o recurso à mesma técnica de trabalho. O BIM proporciona uma plataforma de trabalho comum a todas as entidades de trabalho em causa, mas é importante verificar a compatibilidade dessa comunicação e analisar qual o melhor método de trabalho que nos permita obter os resultados mais produtivos e rentáveis.

Neste âmbito surge a necessidade deste trabalho. O intuito principal é disponibilizar um conjunto de formas de modelar e desenhar armaduras, conseguindo também estabelecer uma ligação entre as máquinas de fabrico automático das mesmas, em que o corte e dobragem é todo feito com a menor intervenção humana possível. Afastando-se do método tradicional de trabalho espera-se reduzir custos, erros e tempo associados.

Com esta dissertação pretende-se analisar e sintetizar as formas existentes de modelar armaduras respeitando os princípios de BIM, criando um processo rápido para a apresentação e disposição destes elementos estruturais, o que inclui a execução dos seus respetivos desenhos de preparação. Para além disso, é também pretendido juntar a esta prática o uso dos padrões-tipo já existentes no mercado e que visam ajudar na criação e organização de todas as armaduras colocadas, permitindo criar tabelas e mapas de quantidades mais standardizáveis.

Neste momento o leque de *softwares* BIM disponíveis no mercado é já considerável, sendo pretendido fornecer ao utilizador a ferramenta mais prática e específica para a tarefa a executar. Como tal, no âmbito da modelação de elementos de reforço para estruturas de betão armado, escolheram-se o Revit

e o Tekla Structures para a modelação a executar, uma vez que são dos programas mais referenciados para o desenho da parte estrutural dos edifícios.

3.2. REVIT

Usando o Revit 2013 como ferramenta de trabalho para a modelação paramétrica de armaduras, é possível concluir desde cedo que são vários os caminhos que podem ser tomados para se atingir o objetivo final. Este programa permite a colocação ou desenho de armaduras através do desenho personalizado e individual de cada um dos varões ou estribos, ou usando um método mais paramétrico e automatizado que está associado às ferramentas já disponibilizadas exclusivamente para as armaduras ou ainda com o recurso às extensões fornecidas pela própria Autodesk. Esta criou uma forma mais inteligente e automática para a colocação de reforços em pilares, vigas ou fundações especificamente.

Para além da colocação das armaduras por si só, o recurso a *standards* já existentes também foi e deverá ser uma preocupação quando se executa este tipo de trabalhos. Desta forma, a informação é mais rapidamente organizada e a comunicação entre entidades também é facilitada. Tendo padrões a seguir, todo o processo envolvido segue as mesmas linhas de trabalho sendo a interpretação de desenhos, tabelas e pedidos mais eficaz.

3.2.1. PRÉ REQUISITOS

Tendo em conta o tipo de pormenorização que os desenhos de armadura exigem, é fundamental ter como base um desenho tridimensional que se adeque a estas condições. Neste contexto, surge a referência aos LOD, já descritos anteriormente. A modelação de armaduras necessita que o ficheiro a dimensionar se encontre pelo menos com um nível de detalhe de 300, onde a geometria das estruturas presentes já se encontra bem definida.

Como especificamente é pretendida a modelação de estruturas de betão armado, é imprescindível que as famílias de elementos a armar sejam compatíveis com esta condição, pelo que todos devem ter como material de construção o betão e que sejam elementos bem definidos quanto à sua função na estrutura. Por vezes, devido a geometrias mais complexas, os programas não identificam com clareza que tipo de elemento está a ser tratado, mas mesmo nessas circunstâncias é possível chegar aos resultados pretendidos.

Outra questão relevante é a atualização da biblioteca de armaduras a utilizar. É fundamental que no início de um projeto se defina qual a base de referência que irá ser usada, para que a partir daí sejam disponibilizados os elementos com as disposições apropriadas. Assim, a forma de trabalho será mais produtiva, uma vez que facilmente se terá à disposição todos os padrões normalizados e usados por todas as entidades envolvidas.

3.2.2. RECOBRIMENTO

O recobrimento deverá ser das primeiras preocupações a ter quando se tem a modelação de armaduras como tarefa a executar. Sendo comum a todas as formas de modelar, é importante definir qual o recobrimento a usar. A escolha desta característica é facilmente obtida através do separador das Estruturas, passando depois para o menu das armaduras. Aí, existe uma opção exclusivamente para o

recobrimento denominada de “Cover”, que disponibiliza uma serie de opções de forma a personalizar os diferentes recobrimentos que os elementos poderão ter.

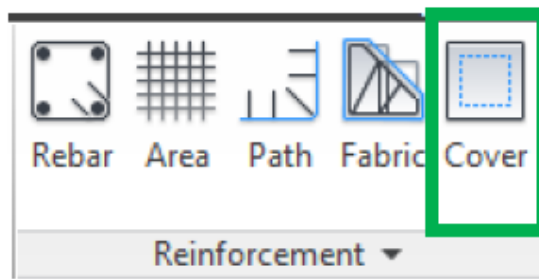


Figura 8 – Opção “Cover” correspondente ao recobrimento, disponibilizada no separador de Estruturas no menu do programa Revit.

Ainda assim, o programa define um recobrimento padrão, que é usado por defeito, a menos que se especifique que é necessário outro diferente. O mais aconselhável é, portanto, personalizar este recobrimento para que este corresponda ao que mais irá ser usado, evitando tantas alterações, e ainda acrescentar os restantes, para que quando necessário sejam esses a ser aplicados.

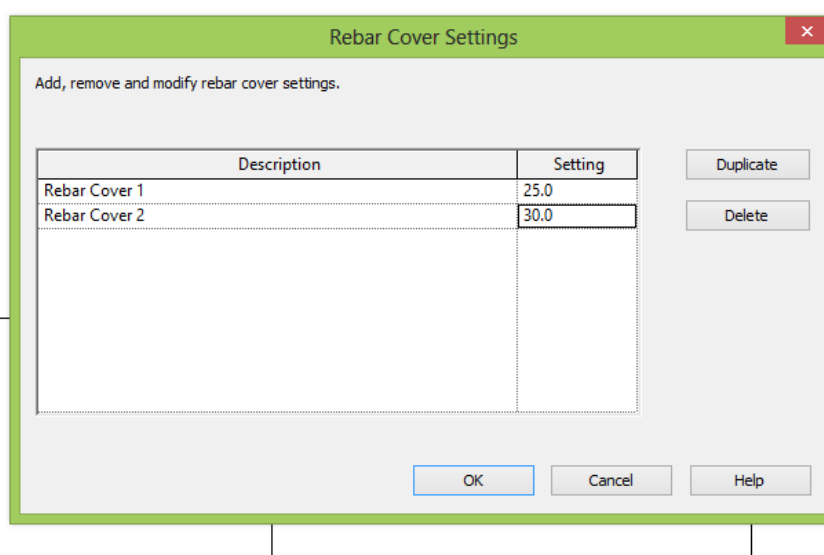


Figura 9 – *Printscreen* onde se apresentam exemplos de diferentes recobrimentos que se podem adicionar em cada estrutura no programa Revit.

Apesar de ao longo do projeto ser possível alterar o recobrimento a aplicar, é importante que este seja estipulado desde início. Alterar o seu valor, depois de colocadas as armadura, poderá provocar consequências negativas na disposição do aço, e portanto no modelo. Esta é uma das razões pela qual o recobrimento deverá ser uma das primeiras tarefas a executar, quando se pretende modelar armaduras.

3.2.3. MODELAÇÃO PARAMÉTRICA

Antes de se iniciar a colocação de armaduras em todos os elementos, é fundamental verificar se a base de dados pretendida está disponível relativamente às formas de dobragem de armadura. A disponibilização da norma que se pretende usar como referência, deve ser tratada desde início, pelo que se deve definir qual a biblioteca que o Revit deve considerar como padrão.

Após a atualização ou apenas verificação das normas e padrões em vigor, poderá proceder-se à colocação propriamente dita. O primeiro passo passa por definir as secções de corte através da opção “Section”, em que são criadas vistas perpendiculares sobre os elementos em estudo (Figura 11).

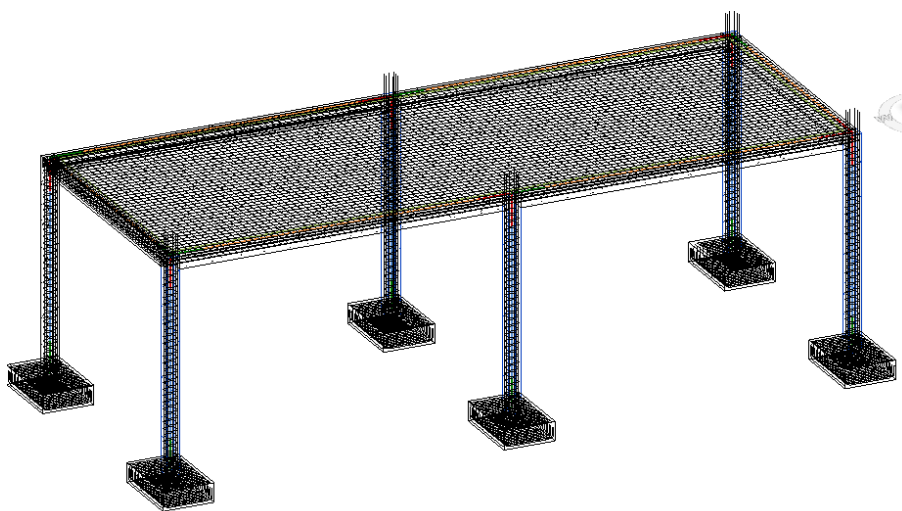


Figura 10 – Estrutura simples modelada pela autora no programa Revit, onde se utilizaram elementos estruturais básicos.

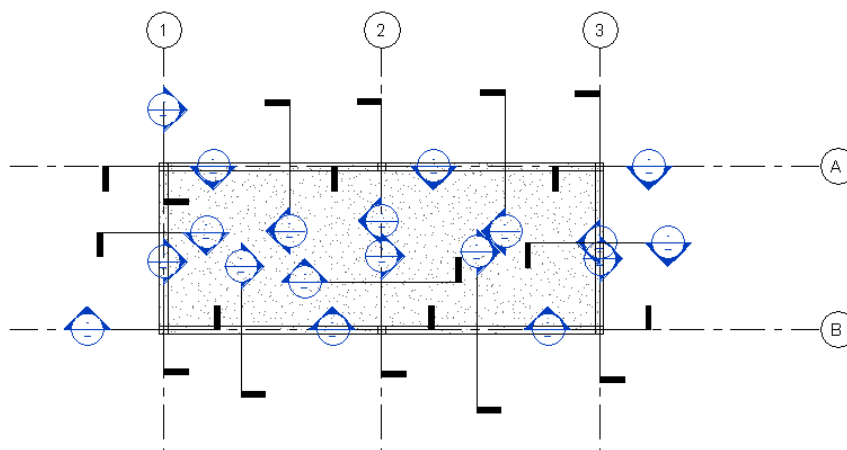


Figura 11 – Exemplo de disposição de secções no modelo apresentado na Figura 10, aquando a utilização do programa Revit.

A necessidade de criação destas secções surge uma vez que, para ser possível a colocação de armaduras em cada um dos elementos, este terá de ser cortado transversalmente.

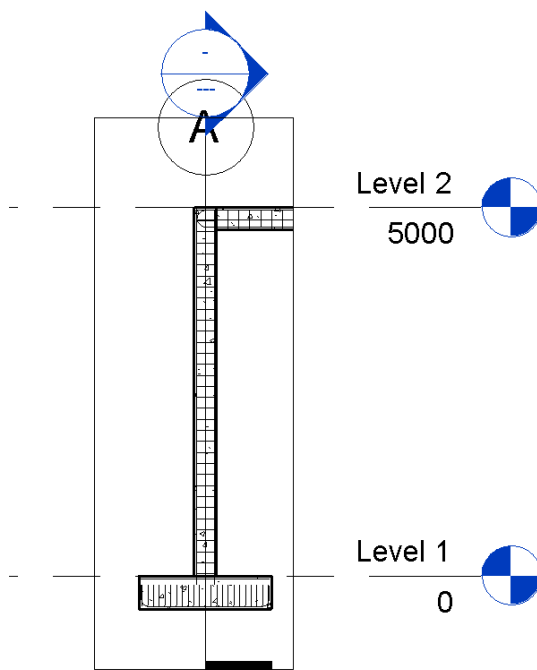


Figura 12 – Exemplo de corte de pilar e fundação do modelo criado pela autora, utilizando o programa Revit.

Após a obtenção da vista referida, deverá seleccionar-se a opção “Rebar” e depois escolher o diâmetro do aço a colocar. Seguidamente poderá proceder-se à atribuição da geometria pretendida, podendo ser uma das disponibilizadas pelas bibliotecas do Revit. É importante ter em atenção se a modelação está a ser feita paralela ou perpendicularmente, e seleccionar a forma de trabalhar pretendida.

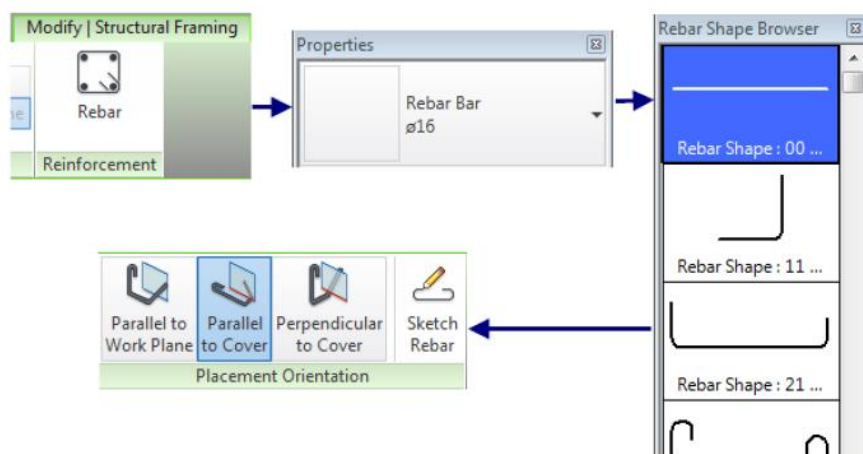


Figura 13 – Workflow base para modelação de armaduras quando se utiliza o Revit como ferramenta de trabalho.

Após escolhido o código deverá ser estipulado como será a distribuição da armadura. O Revit permite decidir entre a colocação de uma única barra, ou um número fixo, atribuir um espaçamento (fazendo ele a distribuição necessária), número de varões e o espaçamento, ou, por último, mínimo espaçamento dentro do possível.

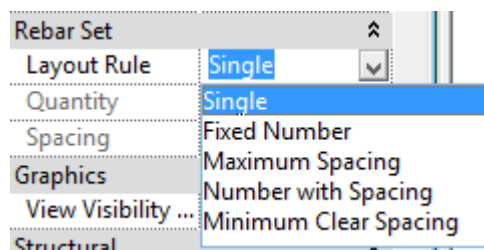


Figura 14 – *Printscreen* onde se identificam as opções disponibilizadas pelo Revit quanto ao número de barras a colocar.

É aconselhável, em elementos que possuam tanto armaduras longitudinais como transversais, a colocação dos estribos em primeiro lugar. Isto faz com que os varões a colocar possuam tanto o recobrimento como os estribos como fronteira, o que leva a uma modelação mais exata.

Quanto à alteração da geometria após a colocação de todos os varões, apesar de ser possível, não é o mais recomendável. Como o varão se adapta ao elemento a armar, ao alterar a geometria, a sua apresentação poderá ficar toda desconfigurada, havendo a possibilidade de ficar parte da armadura no exterior da peça. Por essa razão, é fundamental a atribuição desde o início deste processo de todas as geometrias e formas das armaduras a colocar, para evitar futuros problemas como este.

3.2.4. MODELAÇÃO COM RECURSO ÀS EXTENSÕES DA AUTODESK

As extensões para o Revit Structure no campo das armaduras, vieram facilitar bastante o processo de colocação de aço em grande parte dos elementos. Apesar de não ser possível usar esta ferramenta para todos os elementos estruturais que estão presentes num edifício habitualmente, em relação aos pilares, vigas, paredes e fundações, este método revela-se bastante rápido e de fácil uso.

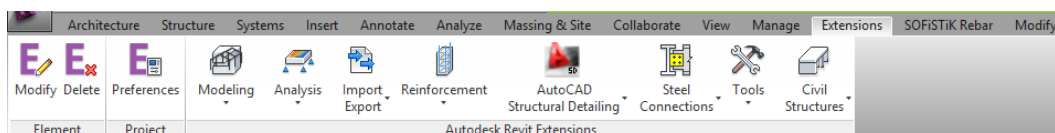


Figura 15 – Opções fornecidas pelas Extensões, extra fornecido pela Autodesk para o programa Revit.

Após a seleção do elemento a armar, e da respetiva escolha na extensão, é fornecido ao utilizador um quadro bastante pormenorizado e completo que apresenta praticamente todas as opções que poderão existir relativamente à pormenorização de armaduras a colocar. Fazem distinção entre varões longitudinais e estribos e ainda referência a diâmetros, espaçamentos, dobragens, entre outros.

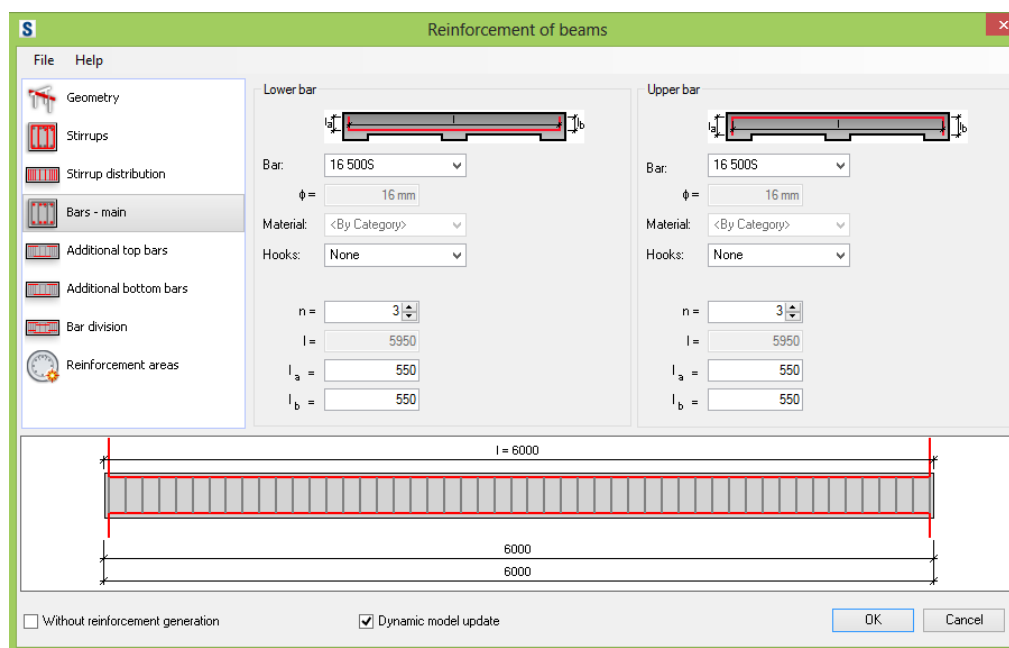


Figura 16 – Quadro fornecido pelas Extensões do Revit para colocação de armaduras, ilustrando-se nesta figura as opções quando as vigas são os elementos a armar.

A rapidez deste processo, aliada à possível manipulação dos parâmetros, torna esta opção de modelação bastante vantajosa. Mantendo também como objetivo a utilização de bibliotecas das formas de corte e dobragem de armaduras, é possível definir como base de trabalho qual a norma que se pretende usar. Assim, as armaduras colocadas pelas extensões são criadas consoante a necessidade do utilizador mas são também automaticamente identificadas e é-lhes atribuído o respetivo código.

A apresentação das armaduras neste formato permite a criação de bases de dados e de tabelas de quantidades, organizadas consoante diâmetros e ainda formas de dobragem, o que é sempre uma mais-valia.

3.2.5. MODELAÇÃO INDIVIDUAL

Este tipo de modelação corresponde à forma de trabalho menos automática, mas que se torna por vezes a única opção de escolha. Nos casos em que é necessário colocar uma armadura cuja geometria demonstra ser mais complexa, as bibliotecas existentes poderão não satisfazer este requisito. Assim, surge a necessidade de criar uma armadura com uma forma específica, obrigando a recorrer à opção de desenho do aço a dispor.

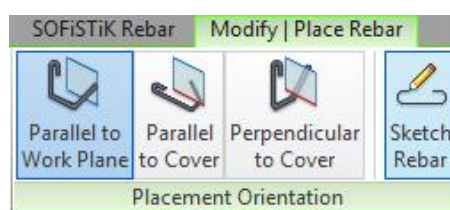


Figura 17 – Opção “Sketch rebar” para desenho de armaduras personalizado, no programa Revit.

Após seleccionada esta opção, o programa abre uma página de desenho, onde é permitido ao utilizador criar a armadura pretendida de forma livre e consoante a necessidade de cada elemento.

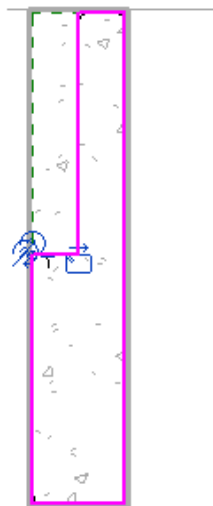


Figura 18 – Exemplo de armadura desenhada “à mão” pela autora, utilizando o programa Revit.

Quando se obtiver o resultado pretendido, deverá guardar-se o trabalho, dando por concluída a tarefa do desenho. Tal como nas outras formas de modelar, as opções de manipulação do diâmetro do varão, a sua distribuição pela peça e até dos ganchos a colocar são disponibilizadas.

A imagem mostra a janela "Type Properties" do Revit para uma armadura. No topo, há campos para "Family" (System Family: Rebar Bar) e "Type" (6 500S). Abaixo, há uma tabela de parâmetros de tipo. A tabela é organizada em seções: Graphics, Materials and Finishes, Dimensions, e Identity Data. A seção Dimensions contém parâmetros como Bar Diameter, Standard Bend Diameter, Standard Hook Bend Diameter, Stirrup/Tie Bend Diameter, Hook Lengths, e Maximum Bend Radius. A seção Identity Data contém parâmetros como Keynote, Model, Manufacturer, Type Comments, URL, e Description. No fundo da janela, há botões para "<< Preview", "OK", "Cancel", e "Apply".

Parameter	Value
Graphics	
Subcategory	None
Materials and Finishes	
Material	<By Category>
Dimensions	
Bar Diameter	6.0
Standard Bend Diameter	90.0
Standard Hook Bend Diameter	90.0
Stirrup/Tie Bend Diameter	24.0
Hook Lengths	Edit...
Maximum Bend Radius	18000.0
Identity Data	
Keynote	
Model	
Manufacturer	
Type Comments	
URL	
Description	
Assembly Description	

Figura 19 – Tabela resumo das propriedades a caracterizar nas armaduras disponibilizada pelo programa Revit.

Uma forma de tornar mais rápida a personalização da geometria das armaduras consiste em selecionar uma das formas já existente na base de dados e adaptá-la face às exigências do projeto. Assim, há uma maior precisão de desenho e torna-se mais rápido todo o processo.

3.2.6. TABELAS

Tabelas que agrupem todas as informações relativas às armaduras modeladas são importantes para a sua própria compreensão. Futuramente, a execução de complexos edifícios em 3D irá proporcionar a oportunidade de usar os modelos diretamente na fabricação e na construção por si só, não necessitando do recurso a este tipo de tabelas mas, nos tempos de hoje, isso ainda não é completamente concretizável.

Estas tabelas servem de mapas de quantidades, e reúnem e sintetizam todos os parâmetros que ajudam a definir as armaduras. As suas características são assim agrupadas e organizadas, havendo possibilidade de manipular as informações de acordo com o que é mais vantajoso apresentar. O próprio Revit disponibiliza uma ferramenta que facilmente permite obter tabelas resumo dos reforços em aço, calculando ainda os totais pretendidos, associar custos, fases de projeto, etc.

A possibilidade de personalizar a tabela que se pretende, disponibilizando informações como diâmetro da barra, comprimento e comprimento total, quantidade, código e os parâmetros da sua geometria (A, B, C, D, etc.) é bastante útil. Ainda assim, uma tabela de armaduras poderá tornar-se bastante extensa, devido às variadas opções de escolha. Neste sentido, poderão utilizar-se filtros que ajudam na apresentação dos dados, tendo em conta que permitem a manipulação dos parâmetros escolhidos.

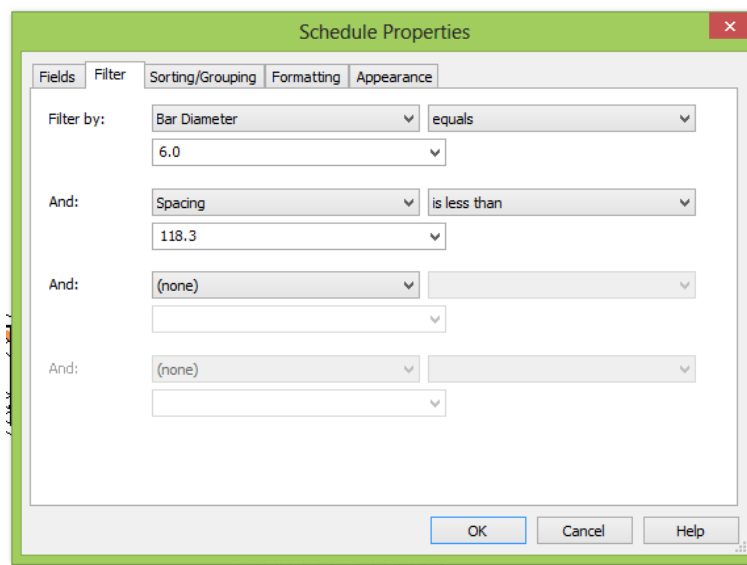


Figura 20 – Filtros aplicados ao diâmetro da armadura e espaçamento disponibilizados para a criação de mapas de quantidades no Revit.

Caso seja pretendido um resumo de todos os varões, o cálculo e apresentação de alguns totais poderá ser necessário. Isto facilmente é obtido através das tabelas de reforço estrutural, em que se pode inclusivamente criar uma tabela apenas para associar diâmetros aos respetivos totais. Selecionando

para se organizar por diâmetros e adicionando outro elemento que calcule os pesos totais, chega-se a tabelas como a apresentada de seguida (Figura 20).

Bar Diameter	Total Length	Weight (kg)
16	210	336
20	131	328
25	231	899
32	106	665
	678	2229

Figura 21 – Exemplo de tabelas dos totais de armaduras criadas no Revit.

3.2.7. DESENHOS

Os desenhos de preparação são um dos elementos indispensáveis para uma completa interpretação do edifício a construir. Estes documentos servem de consulta tanto para a fase de construção, para uma correta forma de colocação de armaduras, como para sintetizar quantidades e características do aço a ser utilizado na estrutura. Assim, eles poderão ser usados tanto em obra como em fábrica, uma vez que em ambos os casos necessitam de saber com detalhe como serão as armaduras a usar.

A importância dos desenhos de preparação é, portanto, elevada. A sua coerência e exatidão não deverão falhar e usando ferramentas como o Revit, estes esboços são obtidos com rapidez e precisão, não necessitando do recurso a outros programas auxiliares.

Em 2D, existem fundamentalmente duas formas de apresentar as vistas das peças, sendo por corte e alçados. Mais concretamente, deverá existir um corte perpendicular e um alçado superior.

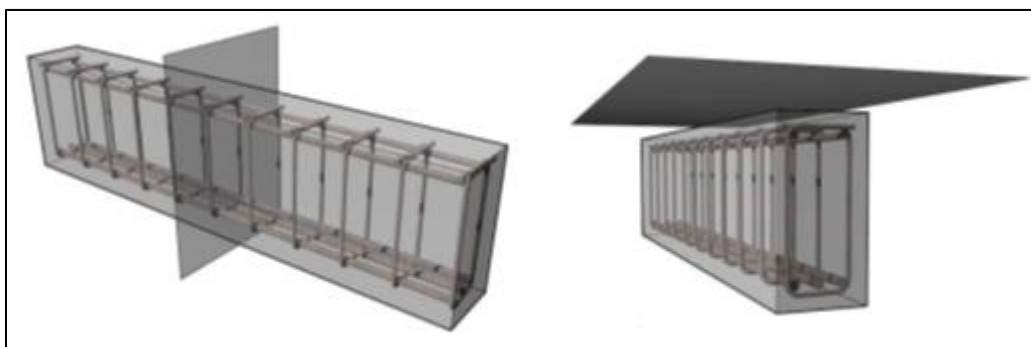


Figura 22 – Plano de corte e alçado superior demonstrativos das exigências impostas para os desenhos de construção.

A razão da escolha por estas duas formas de ver a peça deve-se ao facto de, nas secções apesar da quantidade de informação que se vê não ser tão grande quando comparada com a que as plantas mostram, a geometria poder ser visualizada de forma simplificada e clara. Quanto à vista em planta da peça, a quantidade de dados que são apresentados é bastante grande, não sendo possível ter uma noção rápida de quantidades, no entanto, torna-se perceptível uma representação simbólica de toda a estrutura.

3.2.8. ASSEMBLIES

Os *Assemblies* representam a opção usada no Revit para, de uma forma rápida e precisa, ser possível obter os desenhos de preparação que detalham as armaduras a implementar. Facilmente se obtém os diferentes alçados, cortes, plantas e vistas em 3D que não podem faltar nos documentos pretendidos.

Os *Assemblies* permitem que os elementos modelados sejam agrupados em diversas diferentes combinações ou, caso pretendido, apenas usar como modelo uma laje, viga, parede ou pilar. Para a criação efetivamente destas peças, basta selecionar aquilo que se pretende caraterizar como *assembly* e clicar na correspondente opção.

Uma vez criado o *assembly*, são várias as formas possíveis de obter os cortes e alçados necessários para a criação dos desenhos de preparação. É de salientar o facto de, aquando da eliminação de um *assembly*, todas as suas vistas serem igualmente eliminadas automaticamente. A manipulação das vistas e a criação de novos cortes ou alçados está também disponível, sendo possível documentar e mostrar tudo o que seja necessário. Nas vistas criadas, há ainda a possibilidade de acrescentar alguns elementos importantes tais como: legendas, notas, símbolos e texto.

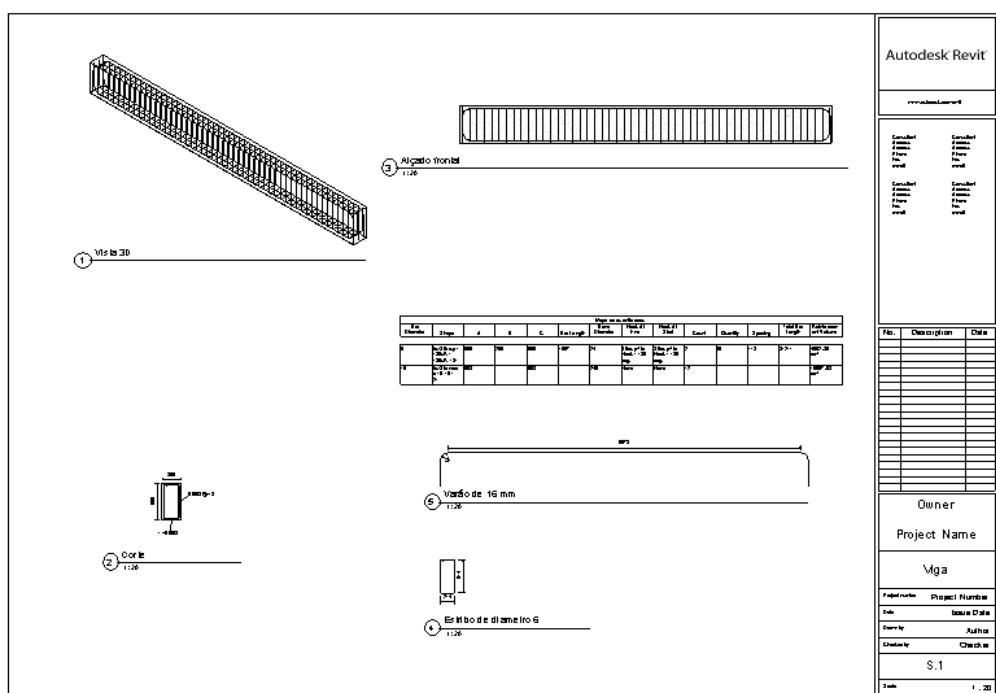


Figura 23 – Exemplo das possíveis vistas criadas com *Assemblies* de uma viga, pela autora, utilizando o Revit.

3.2.9. ANOTAÇÕES

Devido às exigências associadas aos desenhos de armaduras, a completa identificação de todos os varões e estribos que as estruturas possuem é imprescindível. Como tal, os desenhos obtidos através dos *softwares* com BIM, devem preencher estes requisitos e fornecer todas as informações, legendas e anotações necessárias à completa interpretação dos elementos a construir, para não suscitar dúvidas em qualquer fase de projeto e construção. Neste sentido, os *tags* demonstram ser uma ferramenta imprescindível para tornar o processo de pormenorização em 3D eficaz. Ainda assim, estabelecer um

padrão para o tipo de legendas que é necessário associar aos diferentes tipos de armaduras presentes num documento, poderá não ser fácil. É necessário perceber qual a natureza das informações que se procuram, podendo ser o diâmetro varões, o seu respetivo espaçamento ou o número de varões do mesmo tipo.

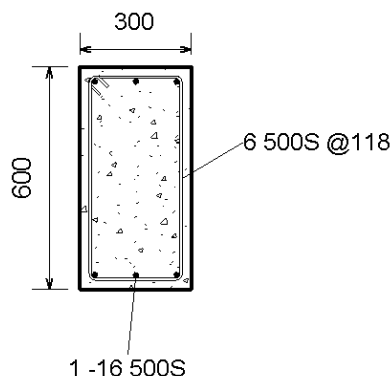


Figura 24 – Exemplo de legendas possíveis de obter para a legendagem de armaduras utilizando o programa Revit.

3.3. TEKLA STRUCTURES

À semelhança do que acontece no Revit, o Tekla também disponibiliza mais do que uma opção para a colocação de armaduras nas peças de betão. Seja com recurso à biblioteca de formas de dobragem, seja por desenho personalizado de barras, este programa oferece alguma escolha ao utilizador, devendo esta incidir consoante as exigências que a própria armadura impõe.

Sendo *softwares* diferentes, as ferramentas disponibilizadas têm organizações distintas e a forma de apresentação dos parâmetros envolvidos também difere. Contudo, é possível estabelecer uma analogia entre o Tekla e o Revit, uma vez que, para a preparação de armaduras, é possível recorrer à modelação paramétrica, automática e individual.

No Revit, a base de preparação foi uma mesa, onde se apresentavam vários elementos como sapatas, pilares, vigas e laje. Contudo, com base na experiência obtida na modelação em Revit, decidiu-se testar no Tekla a modelação de uma viga retangular uma vez que a forma de trabalhar não difere muito entre elementos, assim como as exigências específicas de cada um.

3.3.1. MODELAÇÃO INDIVIDUAL

No Tekla, encontra-se disponível a opção “Grupo de barras de reforço”, dentro do menu “Detalhes”, que corresponde à ferramenta de desenho personalizado de armaduras.

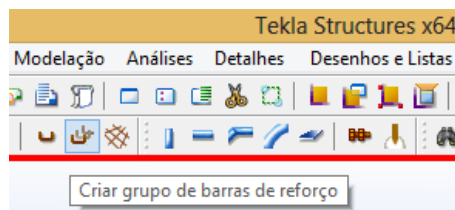


Figura 25 – Atalho para a opção “Grupo de barras de reforço” disponibilizado no programa Tekla Structures.

Escolhendo esta opção, as formas das armaduras são definidas exclusivamente pelo utilizador, sendo toda a sua colocação manual. Uma vez que, regra geral, não se coloca um único varão, optou-se pela criação de um grupo, para assim se obter mais do que um varão.

Uma vez desenhada a geometria do aço, finaliza-se o processo indicando até onde este se irá distribuir. A armadura é assim automaticamente gerada e colocada ao longo da extensão definida.

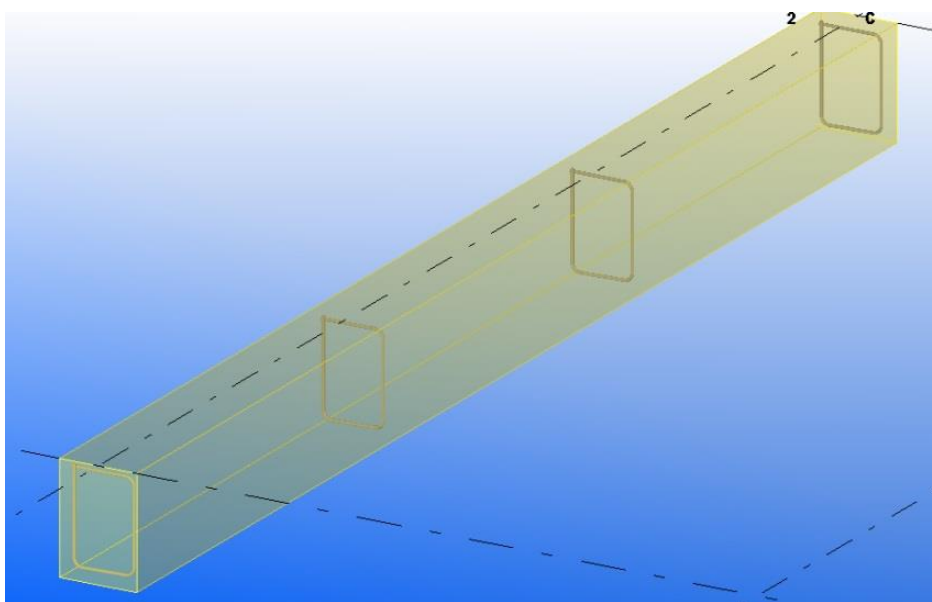


Figura 26 – Exemplo de conjunto de estribos desenhados manualmente pela autora no Tekla Structures.

Após esta etapa, a personalização dos restantes parâmetros pode ser realizada. Com duplo clique sobre a armadura, surge uma tabela onde se poderão atribuir os critérios pretendidos, tais como, recobrimento, diâmetro, ganchos, tipo de aço, entre outros.

Tal como no Revit, manipular a forma como a armadura se distribui apresenta várias opções. Para além de se poder definir por espaçamento, por número de barras a colocar, ou a combinação de ambos, o Tekla fornece ainda uma opção relativamente à geometria do elemento. Consoante a secção do elemento a armar, a armadura irá distribuir-se de forma a adaptar-se a ela, visto ser possível um elemento ter secção variável e portanto as barras terão de comportar-se da mesma maneira. Quando isto acontece, apesar de não ser o caso em estudo, o utilizador deverá personalizar cada barra individualmente garantindo a correta posição de todos os reforços.

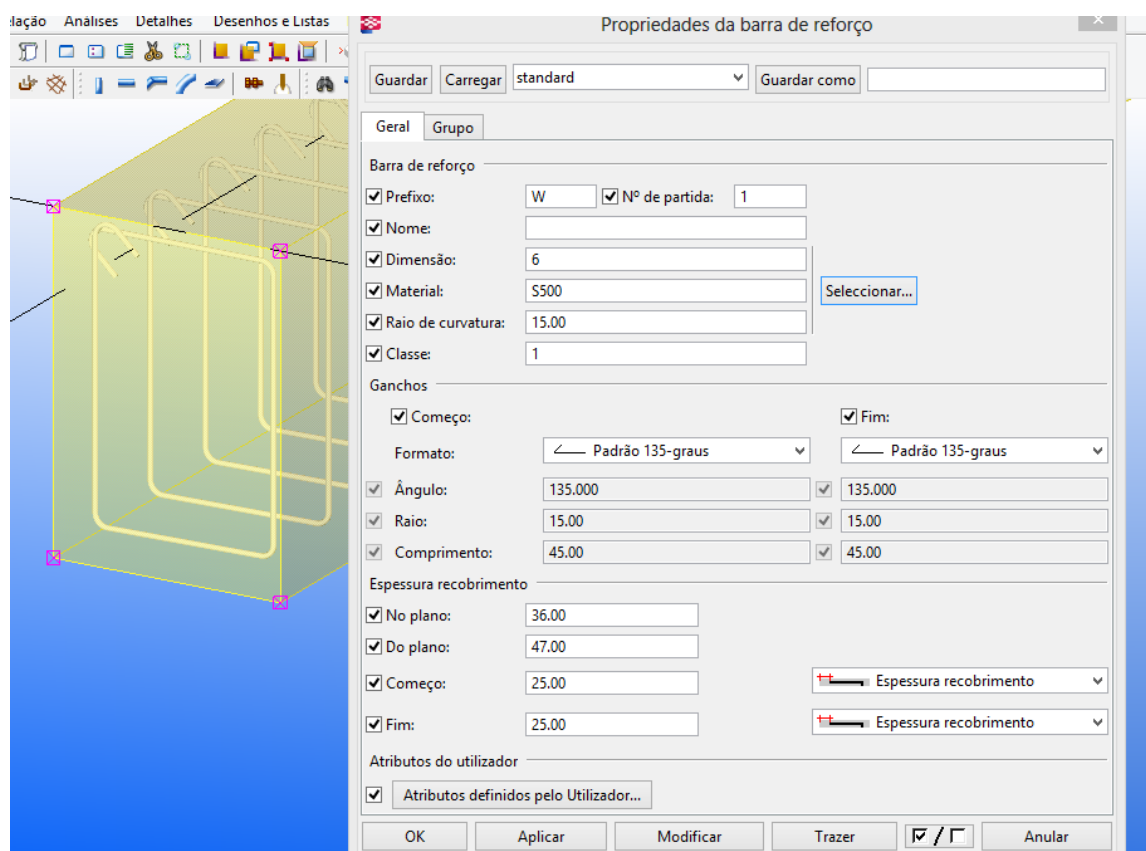


Figura 27 – Tabela resumo com propriedades das armaduras apresentada pelo programa Tekla Structures.

3.3.2. MODELAÇÃO AUTOMÁTICA

No Tekla, a modelação de armaduras pode ser feita com recurso a “Macros”. Este é o método de trabalho mais automático, uma vez que existe para cada tipo de elemento estrutural uma modelação personalizada. O resultado final é obtido depois de caracterizar todos os parâmetros, que são apresentados mais uma vez sob a forma de tabela. A macro usada neste caso de estudo foi a “Reforço de viga”, dentro das opções possíveis:

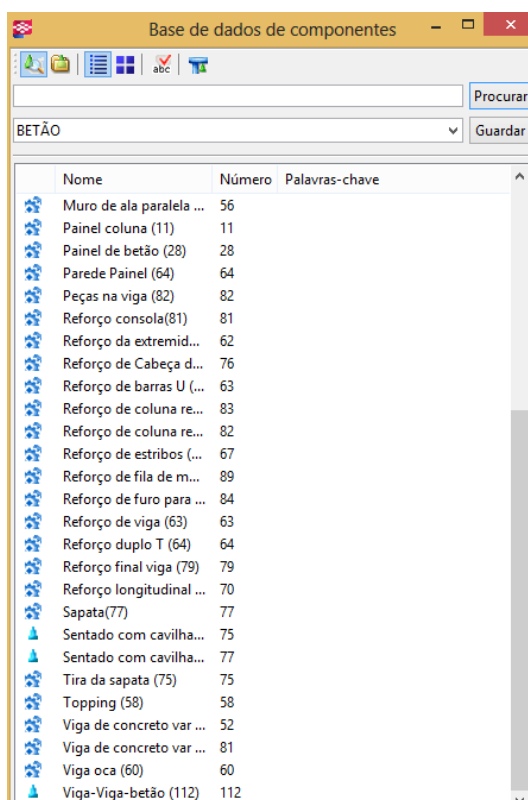


Figura 28 – Printscreen das Macros disponibilizadas pelo Tekla Structures para elementos de Betão.

A manipulação da distribuição é considerável, uma vez que o programa reconhece todas as limitações impostas pelo Eurocódigo 2, dando opção de definir todos os limites e espaçamentos a usar na colocação dos varões e estribos.

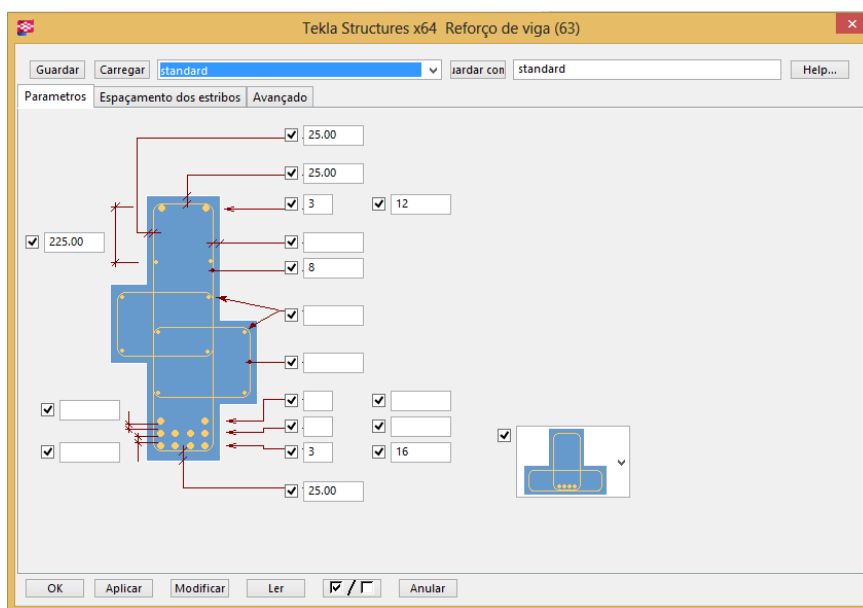


Figura 29 – Tabela apresentada pela macro “Reforço de viga” no Tekla Structures.

Depois de definidos todos os elementos, basta seleccionar o elemento a armar, e o programa procede a colocação de armaduras. O resultado obtido foi o que se apresenta na figura 29:

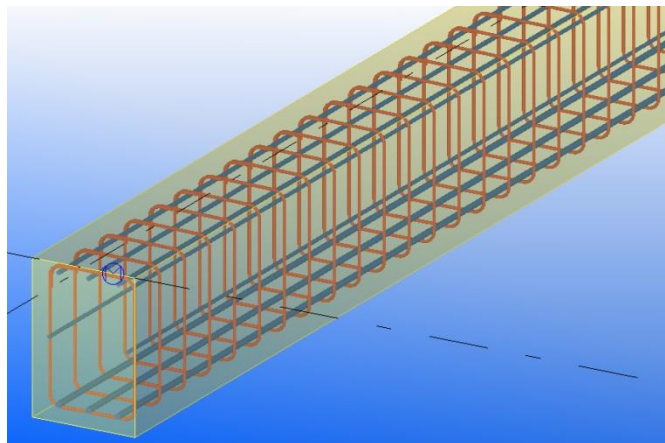


Figura 30 – Viga armada modelada pela autora com o recurso às macros.

Apesar de todos os varões terem sido colocados nas posições corretas, o programa não permite a manipulação individual deles, sendo só possível alterá-los através da tabela apresentada na Figura 26.

3.3.3. MODELAÇÃO PARAMÉTRICA

O Tekla, contrariamente ao que acontece no Revit, não permite a modelação de armaduras com recurso a normas como a BS 8666:2005. Contudo, o próprio programa disponibiliza uma biblioteca de formas sendo possível depois de escolhida a forma pretendida, manipular alguns dos parâmetros mais importantes (ver figura 30).

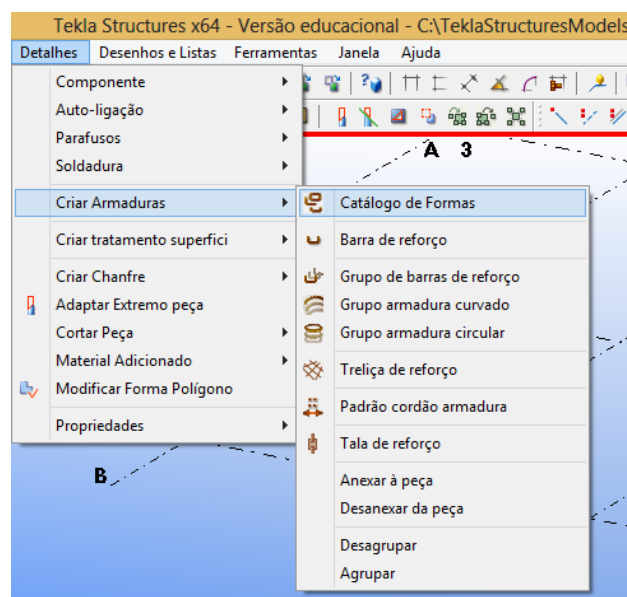


Figura 31 – Procedimento para aceder à biblioteca de formas de dobragem de armaduras utilizando o Tekla Structures.

A biblioteca apresenta uma separação pré-definida das formas de dobragem, consoante o número de quinagens a executar na armadura, apresentando assim as armaduras de forma mais organizada. Uma vez escolhida a forma na biblioteca, o diâmetro a usar deve ser atribuído para que quando se proceder à colocação dos varões ou estribos na peça, não ocorram erros, como por exemplo o diâmetro de varão ser demasiado elevado para o tipo de função ou distribuição pretendida. Existe também a possibilidade de alteração do nome das formas escolhidas, sendo assim possível criar uma biblioteca personalizada e com uma legenda de fácil interpretação.

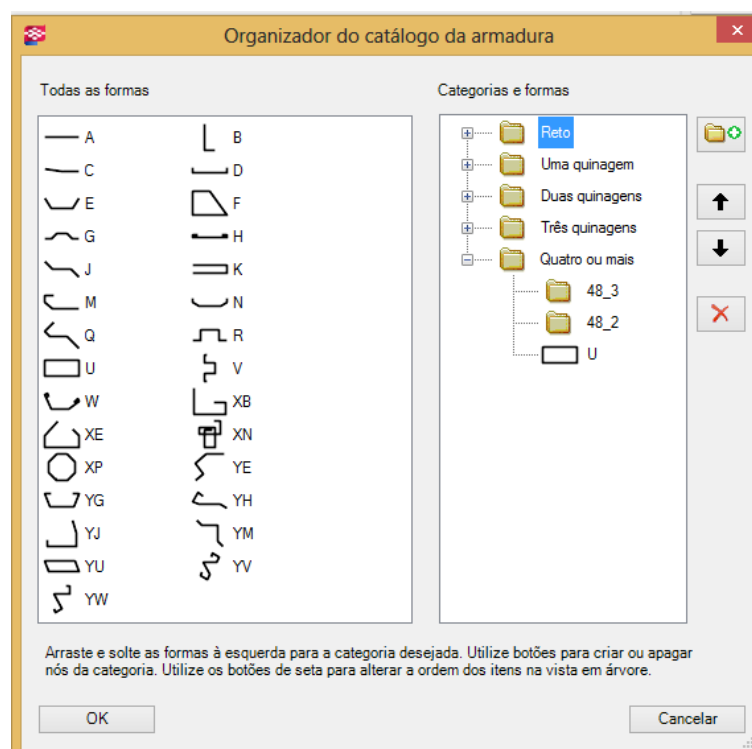


Figura 32 – Printscreen com as formas de dobragem de armadura disponibilizadas pela biblioteca do Tekla.

Terminada esta fase, procede-se à colocação da armadura no elemento de betão previamente modelado. O Tekla permite a colocação de armaduras em vários sentidos, uma vez que muda a forma de disposição consoante a face da peça que se seleciona. Uma vez encontrada a face onde se obtém a maneira pretendida, basta clicar, ficando a armadura inserida na estrutura. Mais uma vez, é possível aceder à tabela de propriedades das armaduras ao selecionar a mesma e com duplo clique, permitindo manipular e alterar alguns parâmetros que caracterizam o reforço, e que não são apresentados na biblioteca de formas.

3.3.4. DESENHOS E TABELAS

Os desenhos de preparação, assim como os mapas de quantidades de armaduras, são elementos facilmente adquiridos quando se utiliza o Tekla como ferramenta de trabalho. Isto demonstra que o programa dá resposta a muitas das tarefas que os desenhadores e preparadores realizam diariamente e fá-lo de uma forma muito rápida e precisa.

Nesta dissertação utilizou-se a opção “Criar desenho Unidade Betão” pois é a forma mais automática de se obter os cortes e vistas da peça modelada, gerando os desenhos de preparação. Uma vez selecionado, na “Lista de desenhos”, o desenho correspondente à peça a preparar, surge imediatamente o documento pretendido.

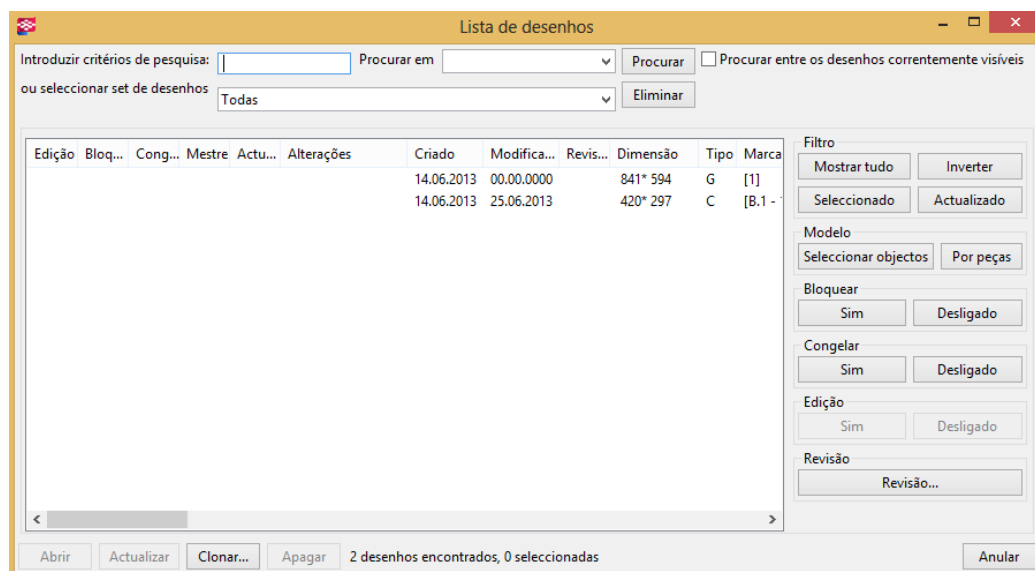


Figura 33 – Exemplo de lista de Desenhos obtidos através do Tekla Structures.

O desenho apresentado de seguida, (Figura 34), corresponde a uma viga retangular cuja armadura são estribos e varões com diâmetro de 6mm e 12mm, correspondentemente. Os elementos presentes são apresentados com uma sugestão de disposição, mas esta pode ser alterada. As armaduras podem ou não estar visíveis, assim como outros elementos.

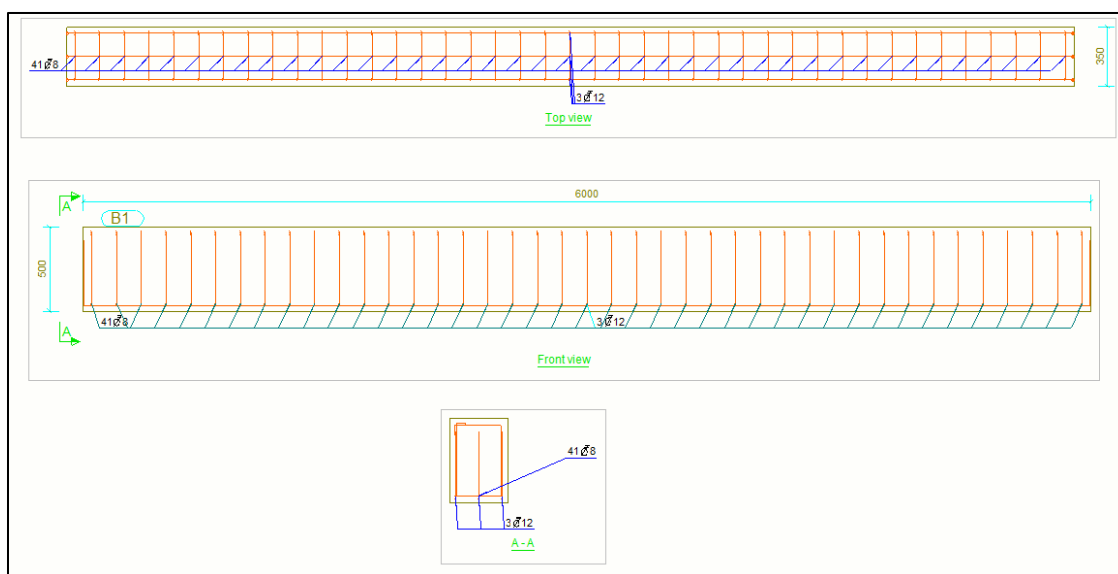


Figura 34 – Exemplo de desenho de preparação de viga armada criada pela autora através do programa Tekla Structures.

ARMADURAS, planeamento de quinagens							
Num.	Material	Diametro	Qtd	Comp.	Kg/p	Peso	Formato da quinagem
1	Undefin	12	3	8732	5.98	17.9	D 
W1	S500	8	41	1529	0.80	24.8	Un 
Total:						42.7	

Figura 35 – Mapa de quantidades relativo à viga apresentada na Fig. 34.

Em anexo encontra-se disponível o exemplo completo do desenho de preparação em formato A4 da viga em cima referenciada (Anexo 3).

Em relação às opções da visibilidade de elementos assim como outras modificações, apresentam-se de seguida imagens das opções que os desenhos apresentam. Desta forma, é possível escolher o que se pretende ter à vista nos desenhos finais e de que forma eles deverão surgir.

Para além dos desenhos, os mapas de quantidade são também mostrados nos desenhos, como é frequentemente feito. Quanto a estas tabelas, a personalização é realizada noutra ferramenta, sendo exclusiva para a manipulação dos elementos das tabelas. A referida ferramenta permite dispor os elementos que caracterizam as armaduras de acordo com a preferência e necessidade do utilizador, disponibilizando assim algumas alterações no seu formato.

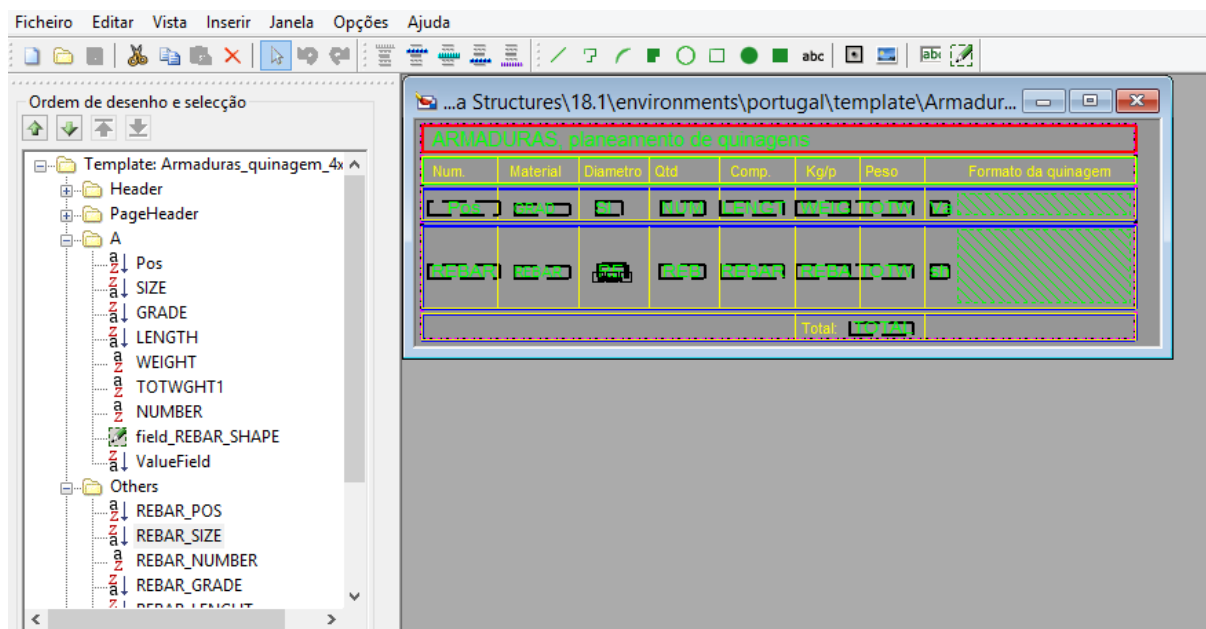


Figura 36 – Printscreen do editor do Template de Tabelas de Quantidades associadas aos desenhos de preparação no Tekla Structures.

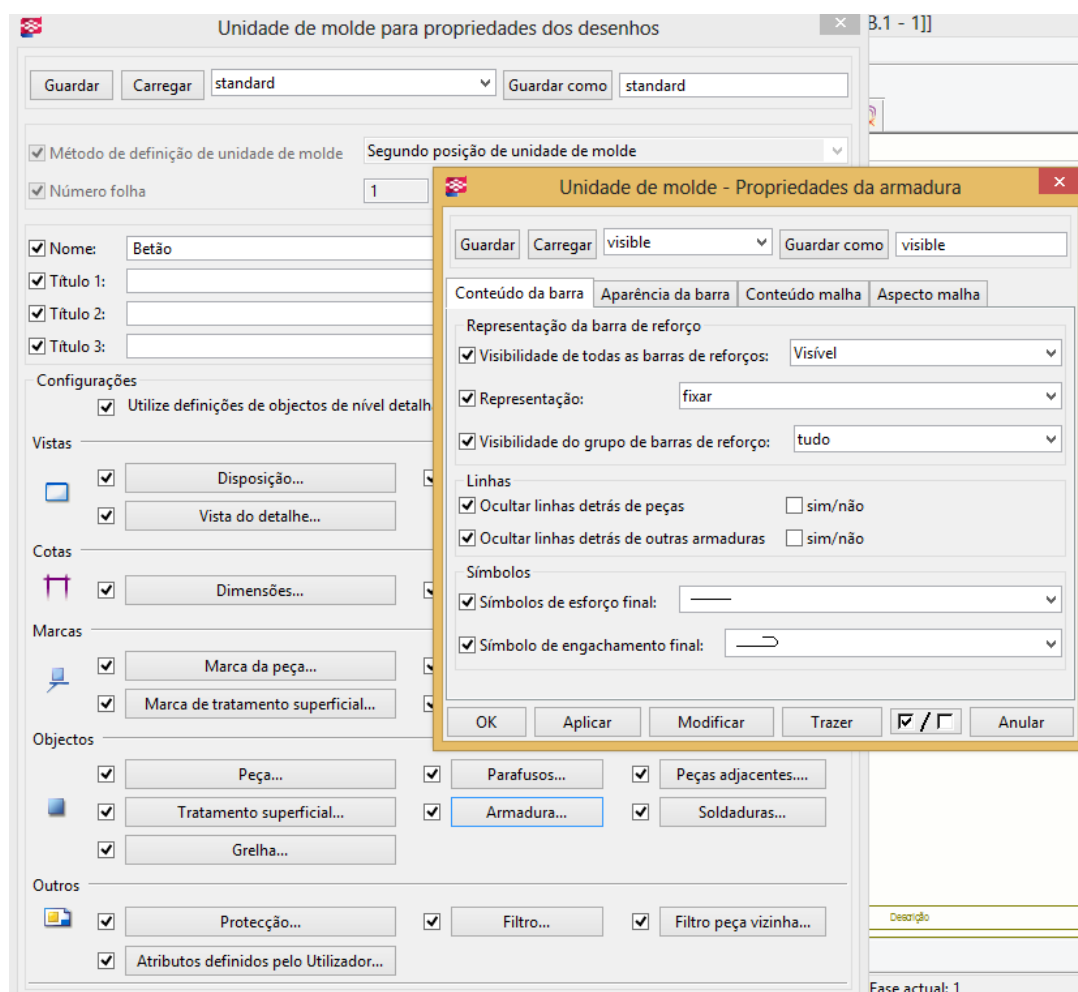


Figura 37 – Ferramenta do Tekla Structures para personalização de desenhos, com destaque nas Armaduras.

3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A finalidade deste capítulo é apresentar um conjunto de regras ou recomendações a seguir na modelação BIM relativamente ao campo das armaduras. As recomendações propostas têm por base as melhores práticas que se verificam em diversos países impulsionadores desta tecnologia. Sabendo isso, faz-se uma compilação e junção de diferentes métodos de trabalhos, analisam-se as possibilidades de combinação de procedimentos e sintetizam-se os processos que mais facilmente poderão ser adotados para a modelação de armaduras por parte do utilizador.

É importante salientar que a proposta apresentada pretende dar a conhecer um conjunto de formas de trabalho, aliadas às normas implementadas e que guiam a forma de colocar armaduras. O objetivo é padronizar todo o processo de modelação e fabricação mas, para o mesmo fim, poderão surgir vários métodos para o atingir.

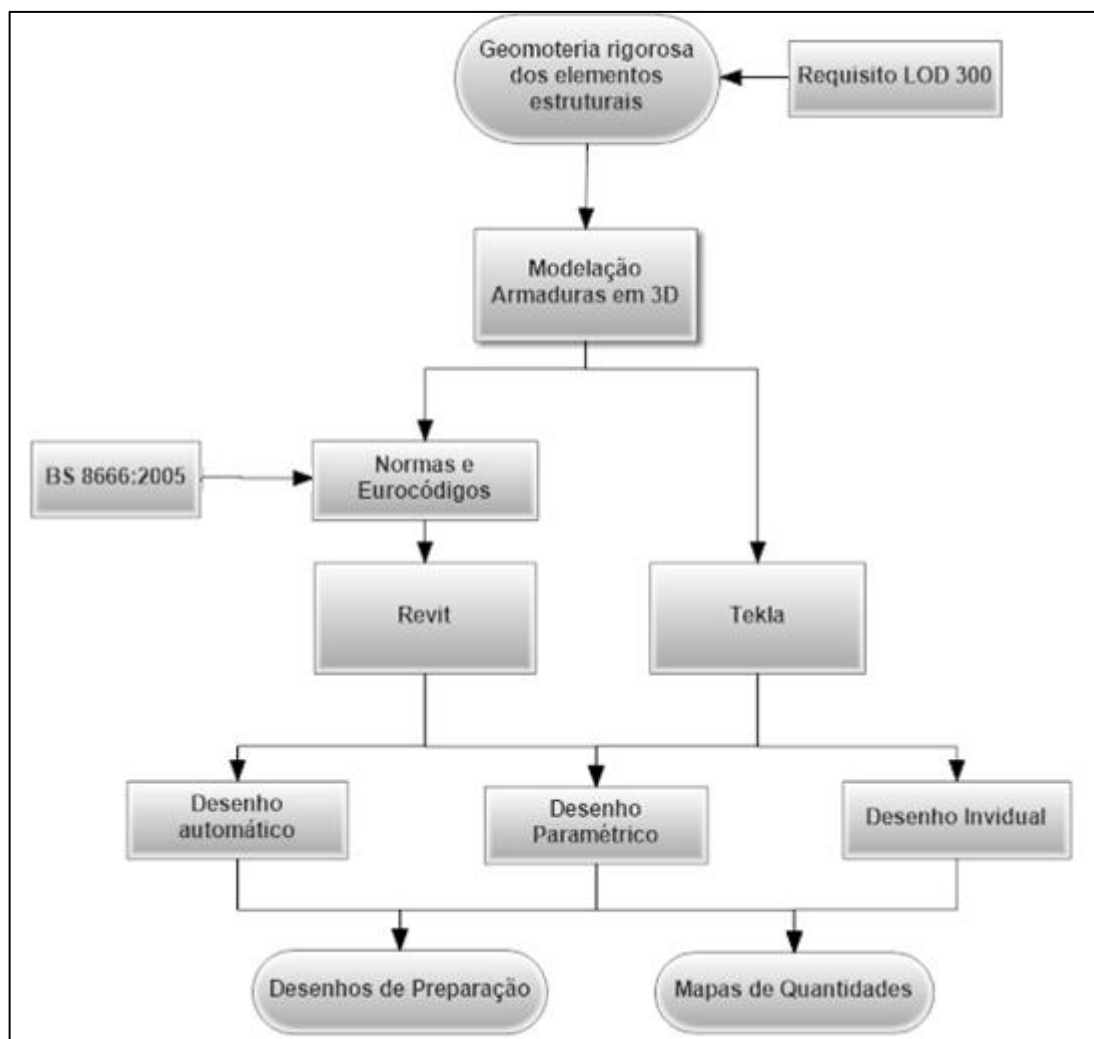


Figura 38 – Fluxograma síntese do processo CAD desenvolvido.

4

PROCESSO CAM – CASO DE ESTUDO

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O principal objetivo desta dissertação foca-se na obtenção de um processo de trabalho que permita a modelação, preparação e fabrico de armaduras com recurso ao menor número de programas possível. Tendo o BIM como filosofia de trabalho, a escolha dos *softwares* focou-se naqueles que apresentam uma maior gama de ferramentas disponibilizadas para todo o processo pretendido e os que à partida serão mais especializados para estruturas de betão armado. Outra condicionante é a disponibilização de uma conexão entre os ficheiros gerados pelos programas e os lidos por máquinas CN de corte e dobragem automáticos de armaduras, para que o processo CAD CAM seja viável.

Neste âmbito, trabalhou-se com os programas Revit e Tekla, e uma vez modeladas as armaduras e obtidos os respetivos desenhos de preparação, investigou-se a viabilidade da ligação automática entre os referidos programas e as máquinas de corte automático.

Nos tempos de hoje, o processo de produção de armaduras com recurso a máquinas de corte automático ainda não é uma prática frequente. Os custos iniciais envolvidos, a atual conjuntura económica, a competição com pequenas empresas e empreiteiros, entre outros, faz com que ainda não existam atualmente muitas empresas portuguesas que recorram ao método mais automático para a obtenção de varões de ferro. Como tal, três empresas foram abordadas para a discussão dos objetivos desta dissertação, sendo elas a Chagas, a Sardaço e a Steelgreen. Considerando a localização das filiais das referidas empresas, a Sardaço foi a empresa escolhida para fazer os testes com as máquinas e onde um maior número de questões foi discutido e aprofundado. Contudo, o método de trabalho é comum a todas as 3empresas referidas, mudando apenas os modelos de máquinas que cada uma possui, e os respetivos *softwares* de conexão.

4.2. MÉTODO DE PRODUÇÃO DA EMPRESA SARDAÇO

Focando então a atenção na empresa em questão, o processo habitual de trabalho consiste na receção de projetos de execução em formato .pdf ou .cad, procedendo-se depois à introdução manual em gabinete de todas as armaduras na sua atual ferramenta de trabalho que é o programa WAS da Armaplus.

Depois de gerado o pedido, o programa cria uma etiqueta onde se encontra um código de barras onde estão contidas todas estas informações, sendo esta a forma que estabelece uma ligação entre o *software* e a máquina de corte. Nessas etiquetas é possível ver também o cliente, a obra associada e informações sobre a armadura (quantidade, diâmetro, comprimento e forma). Uma vez impressa a etiqueta, o

operador poderá proceder à fase seguinte, a produção. A maioria das máquinas têm a si associado um leitor de códigos de barra, que reconhece o código presente nas etiquetas, e estabelece uma ligação entre o servidor que se encontra ligado aos computadores em gabinete, conseguindo assim processar todas as instruções que levam à produção de armaduras. Uma vez terminado o fabrico das armaduras, estas são agrupadas e armazenadas para futuro transporte para a obra e anexas a si têm a respetiva etiqueta. Neste contexto, a etiqueta irá ajudar na correta colocação das armaduras em obra, uma vez que esta possui a posição do aço que também deverá estar indicado em projeto. Ao atribuir uma posição em projeto para todo o tipo de armaduras, a informação está mais organizada, podendo ser usada nos desenhos de preparação e também nas etiquetas de identificação de varões, para que ocorra um encadeamento e transferência de informação de umas entidades para outras o mais eficiente possível.



Figura 39 – Exemplo de etiquetas produzidas na Sardaço.

Consoante a versão do programa que a empresa possui, é possível dar instruções à máquina sem recorrer ao leitor de códigos de barra. Esta função denomina-se de “Telecarregamento” ou “Telecarga de modo direto do local”. A automatização deste processo, que prescinde de um operador a dar ordens à máquina junto a ela, é ainda um processo pouco utilizado, não sendo a habitual forma de trabalhar na Sardaço.

4.3. CURIOSIDADES SOBRE SOFTWARES DE LIGAÇÃO

Sendo a redução de desperdícios de material uma preocupação constante nesta indústria, os desenvolvimentos nos *softwares* que estabelecem ligação com as máquinas de corte automático vão de encontro a esta questão, possibilitando uma gestão eficaz do stock em fábrica. Nos tempos de hoje, o mercado dos programas que podem ser adquiridos para o trabalho de escritório a desenvolver neste tipo de fábricas apresenta já uma considerável oferta, para além de serem muitas as funções que estes podem desempenhar para além da conexão entre o computador e a máquina CN.

Descrevendo mais especificamente o programa WAS, este apresenta uma vasta gama de elementos que é possível associar a cada um dos pedidos, desde as tradicionais características das armaduras, assim como o operador que as produziu, a máquina utilizada, a hora de fabrico, a obra para que se destinam, entre muitos outros. O programa permite calcular também o rendimento dos trabalhadores, fazer uma orçamentação do pedido, realiza relatórios de produção e garante ainda uma otimização do tempo de processamento por varão e reduz os desperdícios de aço. Para tudo isto ser possível, em gabinete introduzem as quantidades de material existentes em fábrica e, consoante o pedido inserido, o

programa analisa qual a melhor maneira de executar o trabalho, tendo em conta os objetivos em cima referidos. Em anexo encontra-se disponível um exemplo de uma lista de otimização de corte produzido pelo programa WAS, correspondente a um conjunto de pedidos a executar, e considerando as características do stock existente naquele momento em fábrica (ver anexo 4).

4.4. A SARDAÇO E O BIM

Deve ser referido também que a Sardaço, caso o cliente assim o deseje, faz os desenhos de preparação detalhados em Autocad e, noutros casos o processo a envolver a empresa poderá ser ainda mais extenso. Por vezes, a empresa é solicitada não só para produzir as armaduras como também para colocá-las em obra, estando portanto responsável por vários processos que envolvem as armaduras. Atualmente e falando do panorama em Portugal, grande parte dos clientes da Sardaço não produz desenhos de preparação das armaduras, enviando o projeto completo para a empresa e só aí é que todas as armaduras são analisadas, tabeladas e ajustadas face a certos condicionantes. O uso de ferramentas como o Autocad por parte dos clientes não propicia uma rápida obtenção destes documentos obrigatórios, levando a que estes passem a tarefa para os técnicos da fábrica.

Quando se estabeleceu o primeiro contato com esta empresa, foi claro o desconhecimento dos avanços tecnológicos na área do BIM e dos respetivos *softwares*. Como tal, as possibilidades que programas como o Tekla dão aos seus utilizadores, relativamente à modelação de armaduras e à preparação dos respetivos desenhos eram ignoradas. Ainda assim, tanto na Sardaço como na Steelgreen, as entidades envolvidas mostraram todo o interesse e disponibilidade para conhecer os avanços que a tecnologia está a disponibilizar a este sector, uma vez que a poupança de tempo e a redução de possíveis erros humanos são fatores que aliciam qualquer indústria. Perante esta receção, analisaram-se então quais as hipóteses que permitiam a conexão com os programas de modelação.

4.5. LIGAÇÃO COM REVIT

Depois de investigar quais os formatos de ficheiros que o Revit permite exportar, e conhecendo grande parte dos ficheiros lidos pelas máquinas CN, concluiu-se que neste momento ainda não é possível uma ligação direta entre o *software* e a máquina. Não havendo compatibilidade de ficheiros, investigaram-se então novas formas de tornar o processo mais automático.

Tendo em conta as ferramentas de trabalho que a empresa Sardaço disponibilizou e deu a conhecer, assim como os ficheiros que o Revit possibilita criar, descobriu-se uma compatibilidade entre os *standards* utilizados por ambos os programas. O uso de bibliotecas de formas de dobragem de armaduras como a BS 8666:2005 como método de modelar armaduras com o Revit, poderá ser também uma das formas de obter os varões e estribos no programa WAS. Apesar do programa não conseguir reconhecer o ficheiro criado no Revit, o cliente pode enviar o seu mapa de quantidades de armaduras criado por ele e, na empresa, o técnico só terá de copiar o respetivo número para cada parâmetro, para a sua ferramenta de trabalho.

Rebar Schedule												
Bar Diameter	Shape	A	A	B	B	C	C	Bar Length	Bend Diamet	Count	Quantity	Spacing
6	bs-Standard - 135xL - 135xL -	550		400		115		2004	90	1	31	100
12	bs-Standard - 0 - 0 - 21		400		2950		400	3644	180	2	3	

Figura 40 – Exemplo de tabela de quantidades associadas às armaduras de uma viga gerada pela autora no Revit.

O utilizador do Revit deverá então exportar a sua tabela, sendo gerado um ficheiro de texto. De seguida, o ficheiro de texto poderá ser enviado para a fábrica ou ser passado para o Excel, consoante o que for preferido por ambas as entidades. Uma vez concluída esta tarefa, a fábrica recebe a tabela no tipo de ficheiro que preferir, e pode então retirar os códigos, números e quantidades e passá-los diretamente para o programa WAS.

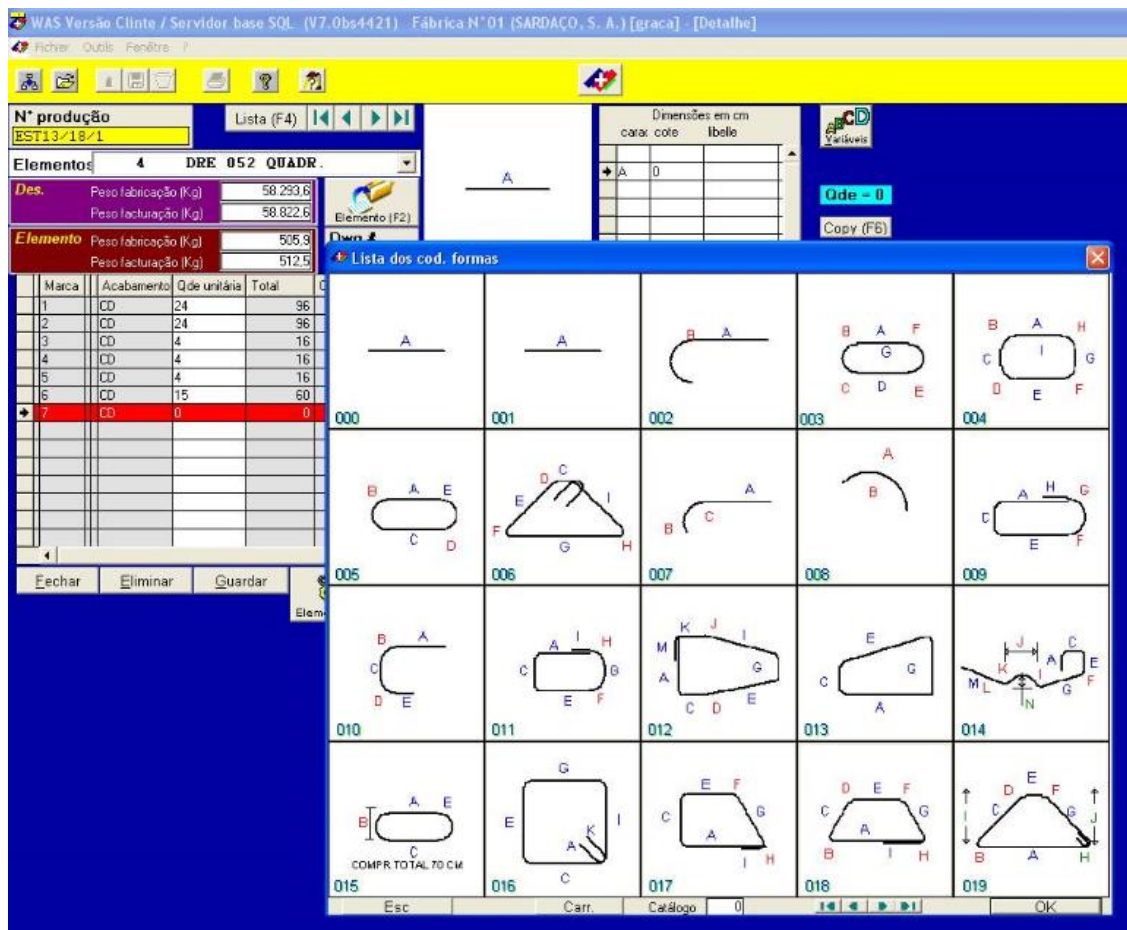


Figura 41 – Printscreen da biblioteca de formas para armaduras disponível no WAS.

A obtenção das tabelas de armaduras é uma tarefa já efetuada uma vez que estas irão estar presentes nos desenhos de preparação. A exportação da tabela para o formato de texto é um passo executado em tempo mínimo, não atrasando portanto todo o processo a executar pela entidade responsável. Já em fábrica, a informação recebida da parte do cliente neste formato permite uma economia de tempo considerável. O facto das armaduras pedidas já terem associado um código correspondente à sua forma e os respetivos parâmetros estarem definidos e discriminados, encontrando-se este código já presente no programa da fábrica, torna o processo de fabrico mais curto. Com o recurso a tabelas com códigos de formas e aos restantes elementos evidenciados na Figura 35, a empresa não terá de analisar projetos para retirar quantidades e geometrias do material a produzir, podendo apenas copiar para a sua área de trabalho todos os números necessários e dar ordem de trabalho às máquinas.

Esta proposta de trabalho apenas é viável se ambas as entidades tiverem ao seu dispor as respetivas ferramentas de trabalho referidas em cima. O Revit deve ser utilizado para modelar as armaduras, de forma a obter as suas quantidades organizadas pelos códigos de forma. Já em fábrica, a empresa deve estar familiarizada com as bibliotecas de formas e recorrer a elas também na sua forma de desenho.

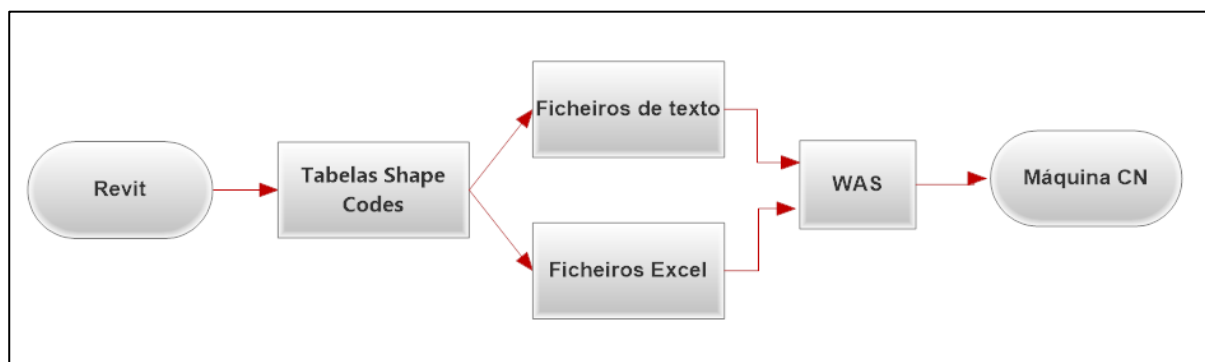


Figura 42 – Fluxograma do processo CAD/CAM desenvolvido pela autora com utilização do programa Revit.

4.6. LIGAÇÃO COM TEKLA

Quando analisadas as opções de trabalho que o Tekla dispõe, concluiu-se cedo que o caminho a tomar seria distinto do adotado com o Revit. O Tekla é uma ferramenta de trabalho já muito utilizada pela indústria das peças metálicas, sendo esta muito mais automatizada e evoluída em comparação com a indústria das armaduras. O carácter *standard* dos elementos que constituem as peças metálicas facilita uma produção em massa com relativa facilidade sendo o método automático de produção frequente. Por estes motivos, o Tekla apresenta já uma compatibilidade entre as respetivas máquinas de corte, permitindo criar ficheiros que são lidos pelas mesmas.

O facto de este programa permitir a elaboração do projeto e respetivos desenhos também de armaduras, suscitou o interesse de investigar como este se comporta quando se pretende criar uma ligação semelhante à feita na indústria das peças metálicas. Para um total conhecimento das capacidades do Tekla, investigou-se o que ele diz oferecer no campo dos reforços de elementos de betão armado.

Direcionando então a procura para as ligações entre o Tekla e as máquinas CN para corte de armaduras, foi necessário analisar ambas as partes, isto é, perceber as capacidades do programa, em termos de formatos de ficheiro que consegue produzir e perceber qual a linguagem de programação das máquinas e quais os ficheiros suportados por elas.

Relativamente ao Tekla, descobriu-se que este permite exportar ficheiros no formato BVBS e no formato ASCII. Estes ficheiros sintetizam a informação numa linguagem própria e é referido pelo Tekla e por empresas que produzem máquinas de corte automático que este tipo de linguagem pode ser interpretado por máquinas CN.

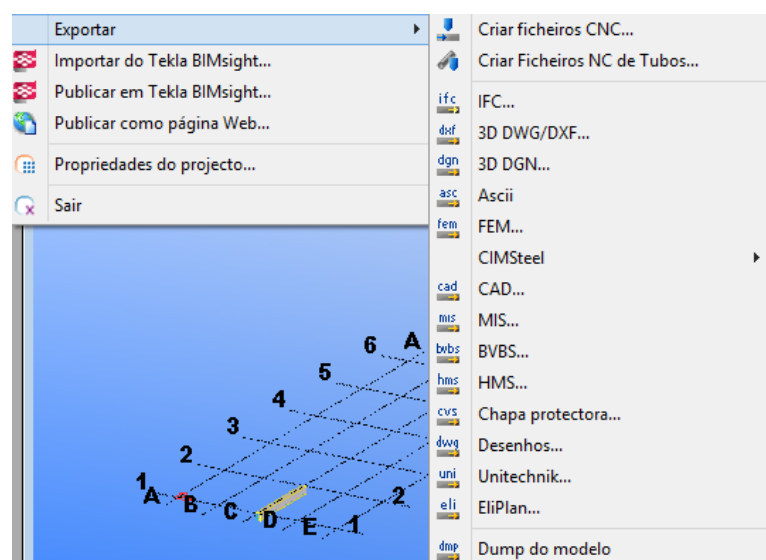


Figura 43 – Amostra da oferta de ficheiros para exportação oferecida pelo Tekla.

Já em relação às máquinas CN, a questão é um pouco mais complexa. Por norma, a sua linguagem de programação é o G-code, sendo um tipo de linguagem amplamente divulgado para uma completa compreensão do funcionamento deste tipo de máquinas. Contudo, para o desenvolvimento desta dissertação foi necessário ter em conta as máquinas disponíveis para o teste de ligações e, portanto, saber qual o formato específico que estas reconhecem. Tal como foi referido anteriormente, foi na empresa Sardaço onde se testaram as compatibilidades entre sistemas, logo a escolha das máquinas a usar foi obrigatoriamente feita consoante as que a fábrica dispunha. Outra questão fulcral para a seleção das máquinas a usar foi a existência de uma entrada USB nas mesmas, pois só assim seria possível um contato direto com a máquina. Uma vez que a aquisição das máquinas por parte da Sardaço foi feita há já alguns anos, muitas delas não possuem entrada para um dispositivo USB. Assim, os modelos que reuniam as condições necessárias foram a Coil 16 produzida pela empresa Schnell e a Planet 20 da MEP.

Estas são máquinas mais recentes e como tal já detêm elementos e opções de trabalho que as mais antigas não dispõem. Os avanços da tecnologia deram-se e dão-se não só em termos de *softwares* como também nas próprias máquinas. Para uma melhor compreensão do funcionamento das máquinas, contactaram-se as empresas em cima referidas, tendo sido a Schnell a mais disponível para tirar algumas das dúvidas existentes. Uma vez indicada a intenção de encontrar uma compatibilidade entre os ficheiros do Tekla e a máquina, a Schnell reafirmou que este tipo de máquinas tinha capacidades para receber ficheiros em formato BVBS.

Uma vez modelada a armadura no Tekla através de um dos métodos referidos no capítulo 3, exportou-se o ficheiro para o formato BVBS. Para obter um ficheiro deste tipo, basta selecionar a opção “BVBS” dentro das opções de exportação e irá surgir uma tabela para o processo de exportação ser executado de acordo com as preferências do utilizador.

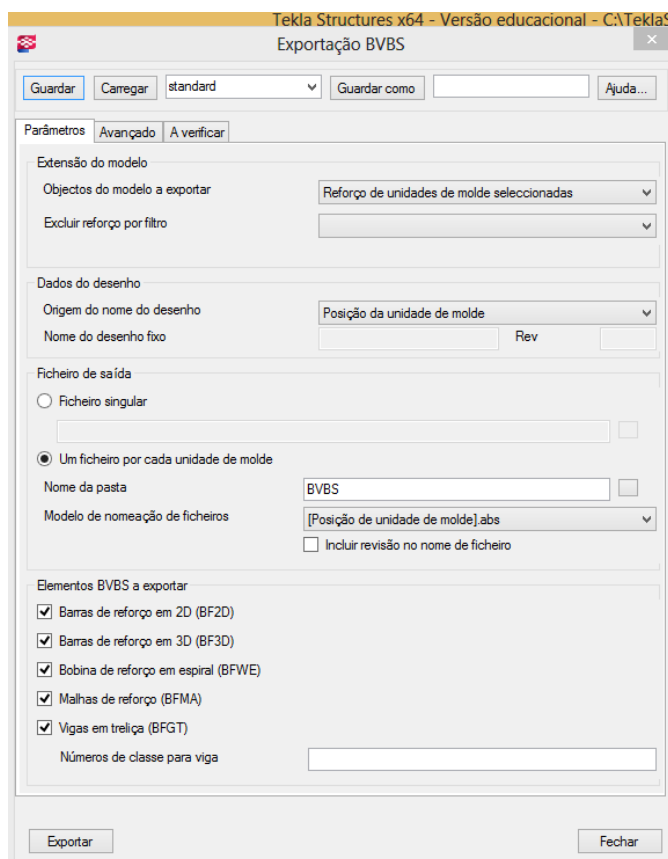


Figura 44 – Printscreen da tabela de exportação para BVBS através do programa Tekla.

Uma vez escolhidas as opções pretendidas, basta clicar em “Exportar” e uma pasta com o nome “BVBS” é criada dentro da pasta onde se encontram todos os ficheiros relativos ao documento em uso no Tekla no computador do utilizador, surgindo dentro da mesma o ficheiro pretendido.

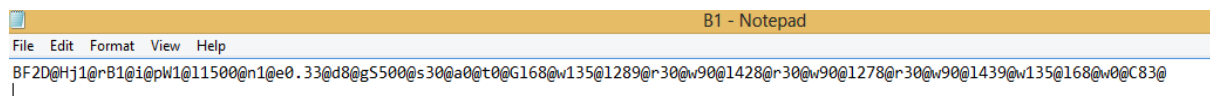


Figura 45 – Ficheiro de texto com linguagem do ficheiro BVBS, correspondente a um estribo regular.

O passo seguinte consistiu em passar o ficheiro para um dispositivo USB, para ser possível a entrada nas máquinas CN. Devido às especificidades impostas pela Schnell, é necessário no dispositivo USB criar uma pasta denominada “Coil”, que deverá estar dentro de outra com o nome “Upload”. O ficheiro BVBS deverá então ser especificamente colocado na pasta *Coil* para que possa ser processado pelo *software* da máquina.

De seguida, e já na fábrica, colocou-se o dispositivo na máquina Coil 16. A máquina detetou o dispositivo como se pode ver na figura seguinte.

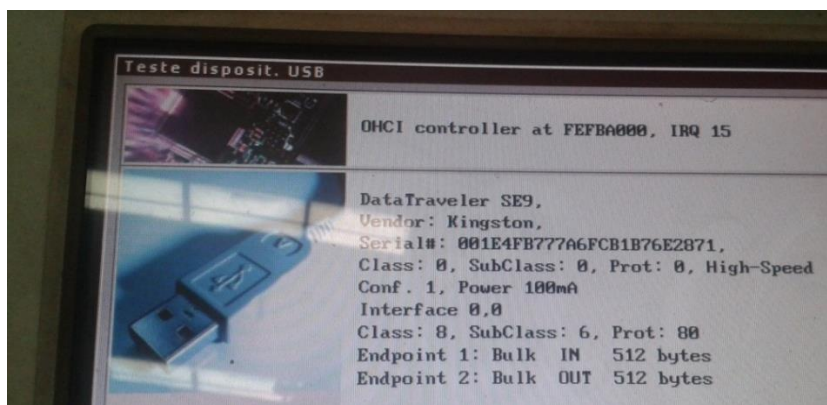


Figura 46 – Informações apresentadas pela máquina Coil 16 relativas ao dispositivo USB.

Uma vez detetada a presença do dispositivo, o *software* da máquina apresenta uma lista com o conteúdo presente nas pastas acima referidas, permitindo ao operador a seleção de qual o ficheiro que pretende mandar para fabrico. Uma vez escolhido o ficheiro, as características da armadura são carregadas para a máquina e apresentadas no ecrã da máquina, como demonstra a seguinte figura.

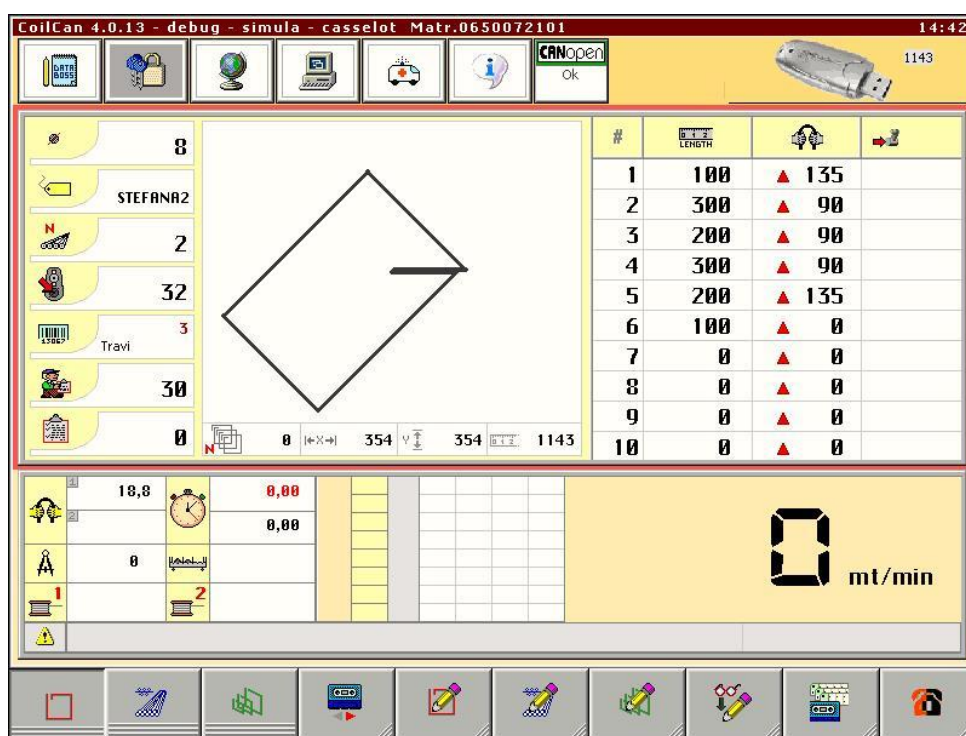


Figura 47 – Exemplo de Interface das máquinas Schnell.

Uma vez confirmadas as características do pedido, é só dar ordem para a máquina iniciar a produção das armaduras, terminando assim o processo CAD/CAM desenvolvido.



Figura 48 - Fluxograma do processo CAD/CAM com utilização do programa Tekla.

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas propostas para um processo de trabalho tendo em conta os conhecimentos adquiridos com os programas de modelação e com as capacidades das máquinas existentes. Tendo como base de conhecimento os atuais processos de fabrico executados por empresas que já possuem máquinas de corte automático nas suas instalações, procurou-se tornar a transmissão de informação entre o cliente e o fabricante num processo mais compatível e que traga resultados produzidos com mais rapidez e com uma menor intervenção humana.

Devido às particularidades de cada um dos programas analisados, as respostas ao problema proposto foram distintas, conseguindo alcançar a produção final das armaduras de formas diferentes e com o recurso a ferramentas diferentes.

A experiência real em fábrica relativamente às hipóteses formuladas foi fundamental para uma melhor compreensão da indústria das armaduras, e claro para comprovar a viabilidade das mesmas.

5. PRODUÇÃO AUTOMATIZADA DE ARMADURAS – AVALIAÇÃO TÉCNICO - ECONÓMICA

5.1. IMPACTO DOS NOVOS MÉTODOS DE FABRICO

A produtividade do setor da construção civil tem sido baixo quando comparado com outros setores, sendo a industrialização frequentemente mencionada como a medida a tomar para aumentar a produtividade. Concorde-se porém que, para conseguir um processo mais industrializado, o foco não pode ser apenas sobre as máquinas de produção, ou seja, todo o processo precisa de ser gerido a partir de ideia do projeto até à conclusão da estrutura. Outras questões importantes que devem ser abordadas ao nível da industrialização são a logística, a colaboração entre parceiros, conceitos padronizados, pré-fabricação de componentes altamente processados, tecnologias de informação e *Lean Construction* (Simonsson and Emborg 2007).

Tradicionalmente, a armadura de aço é fabricada no estaleiro de obras, envolvendo uma grande força de trabalho e uma quantidade considerável de desperdício de aço. Os métodos atuais para a instalação de reforço de aço em estruturas de betão envolvem a interpretação das posições de armaduras a partir de cortes e planos e a instalação de barras individuais por parte dos trabalhadores no local. Se o fabrico de aço pode ser movido da sua posição final, isto é, na obra, para uma posição mais controlável, uma oficina de armaduras, o ambiente de trabalho pode ser drasticamente melhorado (Simonsson and Rwamamara 2007).

A produção de varões e estribos é feita em fábrica com máquinas informatizadas para endireitar, cortar e dobrar o aço. Este é um processo altamente automatizado uma vez que a barra é carregada sobre a máquina de fabrico. Estas máquinas são controladas por computador e transformam a barra na forma e dimensões instruídas. A especificação de cada varão e as dimensões são identificadas a partir dos desenhos de preparação pela empresa que introduz os detalhes num *software* de programação. O programa converte os requisitos do tamanho da barra para instruções de fabricação controladas pelas máquinas e um cronograma de entrega para a oficina de produção (Sondalini Consultado em 04/2013).

Com o crescimento das entradas de tecnologia na construção, não só aumenta a produtividade, como também acrescenta valor a todo o projeto de construção. Utilizando elementos de reforço de aço pré-fabricado acelera-se o processo de instalação no local da obra o que torna a construção mais económica relativamente ao desperdício de material. As fábricas de produção de armaduras para elementos de betão armado asseguram um fornecimento contínuo, independentemente das condições climáticas, o que significa que as estruturas estão prontas para o transporte imediato para o local a fim de complementar o processo de construção (Simonsson and Rwamamara 2007).

Com o recurso a varões pré fabricados, há maior controlo de qualidade em relação ao sistema tradicional de dobragem. A fabricação fora do estaleiro supera difíceis tolerâncias da construção, melhora o manuseamento, bem como contribui para a velocidade da construção e minimiza o

desperdício de material. Quando se trabalha com estes métodos industrializados e inovadores verificam-se benefícios significativos tanto em termos de ambiente de trabalho (mais saudável e seguro para os trabalhadores), redução dos custos relativos ao pessoal para a empresa, bem como na produção de benefícios para o cliente e para a sociedade como um todo, tanto a curto prazo como para as perspetivas a longo prazo (Simonsson and Rwamamara 2007).

5.2. ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE CUSTOS

O principal objetivo da cadeia de fornecimento de varões é maximizar a eficiência, rentabilidade e competitividade operacional das empresas participantes, satisfazendo as necessidades do cliente da melhor maneira possível. Por conseguinte, o desempenho da cadeia de fornecimento pode ser, em parte, medido por meio de variáveis, tais como tempo, custo e qualidade. No entanto, todas estas variáveis são destinadas a atingir o valor eficaz e eficiente. O termo "valor" refere-se a atender às necessidades específicas do cliente (Polat and Ballard 2003). De forma a ter uma comparação realista e imparcial entre o processo tradicional e o industrializado, procedeu-se a um levantamento de estudos realizados neste âmbito. Estes pretendem descobrir qual dos métodos é efetivamente mais económico, pelo que analisam parâmetros onde mais capital é gasto em obra, quando se fala em armaduras.

5.2.1. MÃO-DE-OBRA

Quando se fala de análise do fator mão-de-obra, a questão a aprofundar é o rendimento obtido por cada um dos processos. Em qualquer um dos estudos de referência, os operários envolvidos no serviço de execução de armaduras, independentemente do método, são os armadores e os respetivos ajudantes, no qual a unidade de medição é a hora trabalhada por kg de aço. Os valores alcançados pelas diferentes fontes, apesar de ligeiramente distintos, evidenciam o mesmo.

Segundo (Carlott 2012), para o método de corte e dobragem do aço industrializado, o rendimento foi de 0,068 homem-hora por kg. Já para o método de corte e dobragem executado em obra obteve-se um rendimento de 0,101 homem-hora por kg.

Já nos valores mostrados em (Praça and Neto 2001), o consumo de mão-de-obra por kg no sistema tradicional é de 0,10 h, enquanto no sistema industrializado o valor desce para 0,06 h, sendo ambos os valores iguais para o armador e ajudante.

Por último, no estudo realizado por (Casaleiro 2010), os resultados obtidos para o rendimento do processo tradicional e industrializado foram 0,068 h/kg e 0,054 h/kg, respetivamente. É ainda referido que o rendimento de mão-de-obra no serviço de produção de armaduras é um parâmetro que depende de muitos fatores que fazem com que este parâmetro apresente uma variação muito grande.

Contudo, denota-se uma distinção entre os valores dos rendimentos obtidos com ambos os sistemas, que, apesar de não muito elevada, evidencia que as empresas ganham produtividade com a eliminação deste processo construtivo em obra, uma vez que a mão-de-obra gasta menos tempo a executar esta tarefa.

5.2.2. DESPERDÍCIOS DE MATERIAL

Relativamente ao sistema tradicional de corte e dobragem de armaduras, para se obterem valores precisos que descrevam os desperdícios de aço, é necessário fazer um levantamento dos desenhos de

preparação de obra, para se saber a quantidade exata necessária para executar a obra sem perdas, podendo depois fazer-se um balanço entre o consumo previsto e o real da obra.

É também essencial descobrir a quantidade de aço que entra e sai da obra, sendo possível descobrir isto através do controlo de faturas e informações de transferências. Com estes dados é então exequível saber, com pormenor, a quantidade total de perdas verificadas de aço.

Segundo Carlott (2012), em média, o valor de aço perdido em estaleiro é de 9,72%. Já de acordo com as empresas que aderiram ao sistema industrializado, a perda é pequena, mas existente, ficando entre 0% até 2%.

Casaleiro (2010), refere que o desperdício em médio verificado é de 11% pelo sistema tradicional de corte e dobragem de armadura.

É conveniente referir que a perda está relacionada diretamente com o nível de controlo da mão-de-obra e organização da obra. A maioria dos índices de perdas apresentados por diversos autores, com o passar dos anos, denota uma redução das perdas. Devido às empresas terem melhorado os seus planeamentos e métodos de trabalho.

Relativamente ao sistema industrializado de corte e dobragem, na prática este pode apresentar perdas, não pelo processo de corte, dobragem e montagem, mas sim pelos seguintes motivos:

- Estribos produzidos em excesso (projeto considerado com estribos nos encontros de pilares e vigas e na montagem não ser considerado);
- Erros de projeto;
- Pedido de quantidades erradas;
- Modificações de última hora.

5.2.3. CUSTO DO MATERIAL

O custo dos materiais por unidade de medição de uma operação de construção é calculado pelo somatório dos custos de todos os materiais necessários para a sua realização, atendendo-se sempre às unidades a que os custos dos materiais simples recolhidos no mercado se referem (Casaleiro 2010).

No sistema industrializado, há que somar ao custo dos materiais anteriormente mencionados o custo pelo serviço de moldagem efetuado por fornecedor especializado. De molde a contabilizar o serviço de moldagem, Casaleiro (2010) entrou em contacto com a empresa CHAGAS, a qual possui um departamento que implementa e desenvolve, há mais de 10 anos, um sistema de pré-moldagem de aço, designado por Sistema Armafer, e que cobra 150€/ton pelo serviço de corte e moldagem de aço em varão. Relativamente aos custos com o transporte do material para a obra, estes já estão diluídos nos preços praticados pelas empresas fornecedoras.

O custo unitário adotado de cada material e no total por unidade de quantidade (kg) é ilustrado no Quadro 1:

Quadro 1 – Custo unitário de materiais [Adaptado de (Casaleiro 2010)].

Sistema	Material	Desperdícios [%]	Custo Unitário MT [€/kg]	Desconto [%]	Custo Unitário MT adotado [€/kg]	Custo Unitário MT total [€/kg]
Tradicional	Varão de aço	11%	0,75€	18%	0,61€	0,63€
	Arame de atar	0%	0,0098€	10%	0,0088€	
	Espaçadores	0%	0,0091€	0%	0,0091€	
Industrializado	Varão de aço	0%	0,67€	18%	0,55€	0,72€
	Arama de atar	0%	0,0098€	18%	0,0088€	
	Espaçadores	0%	0,0091€	0%	0,0091€	
	Serviço de moldagem	0%	0,15€	0%	0,15€	

É importante observar que neste trabalho se propõe a realização da preparação das armaduras, isto é, a elaboração dos desenhos de preparação pormenorizados nos gabinetes de projeto. Isto leva a que o trabalho realizado pelas empresas de fabrico seja menor, com menos tarefas e responsabilidades, o que deverá resultar numa diminuição dos preços apresentados quanto ao sistema industrializado.

5.2.4. QUALIDADE

A produção em grandes quantidades de um mesmo produto, espera-se que seja mais eficazmente realizada por um processo automático. Os fatores como a fadiga, cansaço, condições climatéricas, entre outros, não afetam o trabalho de uma máquina. Para além disso, a rapidez e precisão são características que o processo de corte automático já provou ter. O cumprimento das normas não é igualmente negligenciado, havendo portanto a garantia de um produto com qualidade.

Contudo, erros poderão ocorrer. Falhas por parte do operador da máquina, defeito na produção de armaduras, erros de projeto detetados tardiamente, são ocorrências possíveis e reais mas também ultrapassáveis.

5.2.5. CUSTOS TOTAIS

No estudo realizado por Casaleiro 2010, constatou-se que o processo industrializado é 6% mais económico em relação ao processo tradicional. Outras análises económicas de outros autores demonstraram igualmente a redução dos custos, quando se utiliza o método industrializado para o corte e dobragem de armaduras. Contudo, devido à realização do estudo de Casaleiro ter sido concretizada em Portugal, os valores utilizados pelo mesmo traduzem a realidade do mercado português, sendo portanto mais relevante. Para obter a percentagem final referida em cima, o autor teve como base de cálculo e comparação o custo unitário dos materiais, da mão-de-obra e do

equipamento, este último apenas aplicável ao sistema tradicional uma vez que no sistema industrializado este valor encontra-se incluído no custo de serviço.

Apesar da percentagem final calculada dar vantagem económica ao método industrializado, é importante evidenciar que fatores como o transporte do material não foram tidos em conta para a análise económica, o que possivelmente poderia influenciar a percentagem obtida a favor do método tradicional. O facto de a armadura sair das fábricas já dobrada, leva a que um camião que normalmente transporta até 25 toneladas de aço em varão de 12m, reduza essa quantidade de peso transportada, traduzindo-se em maiores custos de transporte. Outra agravante é o reduzido número de fábricas com este tipo de sistema de implementado, o que gera maiores distâncias geográficas entre o local de fornecimento e cada obra concreta.

5.3. CONCLUSÕES

Quando se fala em estruturas de betão armado, as opiniões dos construtores convergem num aspeto: o aço é a componente mais cara dessa etapa da obra. Para compensar e reduzir os custos há uma constante busca pela industrialização dos serviços de corte e dobragem, para obter um aumento de produtividade da mão-de-obra e redução das perdas (Carlott 2012).

Já (Feingold 2007) comenta que os empreiteiros afirmam que a pré-moldagem tem desvantagens, é mais dispendiosa e o tempo de espera pelas peças moldadas poderá ser de 2 a 3 dias, o que leva o empreiteiro muitas vezes a encomendar mais peças para evitar ruturas de *stock* e consequentes atrasos na conclusão das atividades. Este autor também realça que o recurso a materiais pré-fabricados pode levar a atrasos provocados por alterações de projeto ou desenhos de pormenorização de armaduras incorretos. O uso de materiais pré-fabricados funciona bem quando os projetos possuem dimensões e peças standardizadas.

(Polat and Ballard 2005) evidenciam que a preferência pela fabricação de armaduras em estaleiro de obras, em detrimento da fabricação em estaleiro central constatada na Turquia, deve-se sobretudo a 4 fatores que normalmente se verificam em países em vias de desenvolvimento:

- Problemas técnicos, dado que muitas vezes as siderurgias só vendem em grande escala;
- Este facto pode levar a que as empresas de fornecimento de aço se atrasem devido ao longo processo de aquisição do material; como resultado a obra também sofre atrasos;
- Problemas de gestão, pois muitos empreiteiros têm problemas em definir corretamente o cronograma de entrega das peças pré-moldadas;
- Problemas éticos; os empreiteiros não confiam na qualidade do aço pré-moldado, ou então, também tentam “extorquir” o dono-de-obra usando trabalhadores a mais e exagerando na quantidade de desperdícios gerada na fabricação em estaleiro de obras;
- Problemas económicos, que se devem essencialmente a taxas de inflação elevadas e preços de materiais muito voláteis, preferindo o empreiteiro decidir o momento em que compra o aço, em cada caso.

As vantagens do sistema industrializado, segundo Casaleiro (2010), tendo como referência a empresa Chagas, são as seguintes:

- Eliminação de espaços correspondentes a: atados de varão, máquinas de dobrar, bancadas de corte e dobragem, pontas para aproveitar, mesas na cantina, camas, dormitórios. Assim estes espaços são utilizados para outras finalidades ou economizados quando são poucos, como é o caso de obras em cidade;

- Receção em obra do material que será realmente necessário para a etapa a ser executada na altura e conforme planeado;
- Minimização de custos pois, para um mínimo de folga, os varões deverão ser adquiridos para a obra com uma antecedência significativa para não faltarem durante os trabalhos e colocar em risco o cronograma das outras atividades, tais como cofragens e betonagens; Ainda assim é frequente haver excesso de material de alguns diâmetros e falta de outros, pelo que quando se chega ao final da obra ter-se-ão sempre sobras de material que provavelmente não terão qualquer destino útil; Tudo isto traduz-se em custos financeiros difíceis de prever e sempre inconvenientes para o orçamento da obra;
- O material comprado é rigorosamente e nominalmente o que será consumido nas quantidades estipuladas à partida pelo levantamento efetuado no projeto de estabilidade. Por outras palavras, fica assegurado o consumo de materiais rigorosamente idêntico ao levantado em projeto, pois tanto no armazenamento como na montagem dos elementos, o sistema agiliza a identificação e a utilização das peças estruturais através da colocação de etiquetas.
- Raio de dobragem, REBAP, resistência à tração, classe do aço, empalmes regulamentares, etc. são termos fundamentais para a qualidade das armaduras, mas que são frequentemente negligenciados na execução em estaleiro de obras devido às pressões decorrentes dos prazos e condições de trabalho; Neste sistema, as questões de qualidade estão salvaguardadas à partida pelo facto de na execução do trabalho estar alocada uma equipa técnica e profissional preparada para trabalhar exclusivamente na atividade e processamento de armaduras, desde operadores de máquinas até engenheiros especializados;
- Por questões comerciais e de transporte os varões são fornecidos em barras de 12m; Partindo-se do pressuposto que serão tomados todos os cuidados possíveis no corte dos varões, haverá sempre uma certa percentagem de desperdícios, que são maiores quanto maior for o diâmetro do varão. A realidade frequente é comprar à partida o material indicado no levantamento acrescido de 10% para dar cobertura aos desperdícios, e mesmo assim, ao longo dos trabalhos é frequente a necessidade de complementar as quantidades inicialmente adquiridas; Com o sistema industrializado não há desperdícios, ou seja, a quantidade encomendada é rigorosamente igual à quantidade consumida e à quantidade nominal do projeto;
- Redução do tempo de construção, simplificação de processos e redução de custos quando a obra se localiza em áreas remotas, sem acesso a energia elétrica.

Pode-se então concluir que cada um dos processos tem os seus prós e contras, sendo vários os parâmetros que devem ser analisados quando se faz uma comparação entre eles. Em termos económicos, o processo industrializado demonstra ter vantagens a nível de poupança de área de estaleiro, de recurso à mão-de-obra e de melhor qualidade de execução. No entanto, o material propriamente dito é efetivamente mais caro, o que é expectável, uma vez que é necessário contabilizar o trabalho que os operadores executam em fábrica.

As garantias proporcionadas pela indústria do aço que recorre ao corte e dobragem automático de armaduras asseguram uma qualidade de trabalho que muitas vezes não se verifica em obra, devido às condições de trabalho, aos conhecimentos e habilitações dos trabalhadores e à própria duração de tarefa. Com um planeamento rigoroso e atualizado, assim como um trabalho eficaz e exato em obra, o processo industrializado demonstra ser um potencial substituto para o corte de armaduras em estaleiro.

Os estudos económicos realizados com o intuito de analisar as vantagens e desvantagens do processo industrializado de produção de armaduras indicam que em termos económicos o processo é vantajoso.

Contudo, quando outros fatores como qualidade e tempo de produção são referidos, este processo revela-se ainda mais proveitoso.

6 CONCLUSÃO

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como principal objetivo a proposta e desenvolvimento de processos CAD/CAM para a preparação e produção industrial de armaduras para elementos de betão armado. Como tal, surgiu a necessidade de investigar as ferramentas mais indicadas para a parte de modelação e preparação e, numa fase seguinte, perceber o funcionamento das máquinas CN e como é a informação recebida, para assim testar uma possível ligação entre os dois sistemas.

O mundo da construção está em constante mudança. Seja nos materiais de construção, nos sistemas de segurança, nos equipamentos em obra, todos os dias são criadas e divulgadas novidades no mercado onde o efeito pode ser substancial ou pouco significativo. Nesta dissertação, analisaram-se os avanços da tecnologia em relação às máquinas de produção de armaduras, onde o corte e dobragem são realizados sem intervenção humana. Esta foi uma porta aberta há já alguns anos, onde também as empresas que fabricam as máquinas procuram aumentar a gama de modelos oferecida e ainda as capacidades de cada um dos modelos. Associada a este mercado, existe a venda de *softwares* que estabelecem uma ligação entre as máquinas e os escritórios das fábricas, alcançada através de servidores. Nestes gabinetes ainda são elaborados muitos desenhos de preparação para de seguida toda a informação recolhida ser digitada nos ditos *softwares*, conseguindo assim uma forma de passar as suas instruções para as máquinas. Estes programas são também eles cada vez mais desenvolvidos, fazendo análises, gestões, cálculos e toda uma série de relatórios que fornecem ao seu utilizador dados como o desperdício por fabrico, os pesos totais de material gasto, as combinações face ao *stock* existente para a economização de aço ser a maior possível, entre outros. Contudo, a inovação é sempre possível e esta dissertação procurou caminhar nesse sentido.

O conceito BIM apesar de não ser ainda conhecido por todas as entidades dos setores de AEC é já uma referência frequente nos países nórdicos e no Reino Unido, sendo estes países conhecidos pela sua tecnologia de ponta. Familiarizando-se com os princípios de trabalho que o BIM requer, é possível tirar melhor partido dos programas de que este dispõe. Trabalhar com programas como o Revit ou o Tekla Structure não é por si só uma utilização do BIM uma vez que, neste contexto, é importante haver um acordo entre todas as entidades que irão participar no projeto, e todas as tarefas devem ser atribuídas de forma clara, para que os resultados em cada uma das fases permitam que a entidade seguinte lhe possa dar a continuidade acordada. Tendo estes ideais presentes, e direcionando a dissertação para o campo das armaduras, investigaram-se as capacidades de dois programas BIM, o Revit e o Tekla Structures, para perceber quais as vantagens que estes programas trazem quando comparados com o programa mais utilizado nos tempos de hoje, e qual a melhor forma de obter os elementos pretendidos. O objetivo foi portanto desenhar armaduras em projetos com elementos de

betão armado, obtenção dos desenhos de preparação e estabelecer uma ligação com as máquinas CN. Ambos os programas possuem opções e ferramentas que ajudam em parte do processo, sendo possível atingir os documentos necessários de várias formas. Uma preocupação presente ao executar esta tarefa foi recorrer a tabelas que sintetizam algumas das principais formas de dobragem de armaduras, onde se associa a cada uma das formas um código. Desta forma, nos documentos finais, a informação que caracteriza as armaduras pode vir organizada com uma linguagem *standard* e que pode ser utilizada por outras entidades, para além do projetista.

Uma vez obtidos os desenhos pretendidos com os respetivos mapas de quantidades associados, procedeu-se à fase seguinte da proposta, que corresponde à parte da produção, o CAM. Recorrendo a empresas portuguesas que possuem máquinas CN, testou-se a compatibilidade de ficheiros e outros processos possíveis. Este foi um dos maiores condicionantes encontrados no decorrer deste trabalho, uma vez que ainda não são muitos os ficheiros comuns a ambos os sistemas. Uma vez que este tipo de ligação ainda não é uma prática muito procurada, neste momento não é possível encontrar uma ligação rápida entre os programas de modelação e as máquinas de dobragem automática. Contudo, face à necessidade dos utilizadores, os programas vão aumentando a sua abrangência quanto aos *softwares* de ligação para uma maior interoperabilidade, assim como são desenvolvidas extensões e aplicações que podem ser transferidas e instaladas nos programas, aumentando as opções dos mesmos. Demonstrando interesse e evidenciando as vantagens destas conexões, é possível surgirem novas opções de exportação e também novas formas nas máquinas de interligar elementos, tais como dispositivos USB.

Perante as opções disponibilizadas e existentes de momento, propôs-se a transmissão de informação por meio de tabelas de quantidades do cliente para as fábricas, onde aí passa a ser realizada a transferência de informação através de ficheiros de texto, que são recebidos para utilizar no *software* atualmente em uso, sendo a linguagem base de comunicação o conteúdo técnico definido na norma BS 8666:2005. Este processo é viável quando o Revit é usado para a modelação e preparação das armaduras, no entanto quando se utiliza outro programa este já não se aplica. Para o programa Tekla, as soluções encontradas foram bastante distintas. Este programa encontra-se muito direcionado para a parte estrutural dos projetos, permitindo a criação de desenhos e tabelas de quantidade de forma muito rápida e precisa. Contudo, não possibilita a implementação da tabela referida anteriormente, o que levou a uma forma de trabalho diferente. O leque de exportações que este programa disponibiliza permitiu descobrir um ficheiro comum aos lidos pelas máquinas CN. Isto permite uma ligação quase imediata entre o projetista e a fabricação das armaduras desenhadas. Através de ficheiros BVBS, é possível dar instruções diretas às máquinas sem surgir a necessidade de recorrer a mais programas pelo meio. Ainda assim, nem todas as máquinas apresentam esta opção, uma vez que muitos dos modelos são antigos e estes são avanços possíveis de encontrar apenas nos modelos mais recentes.

Apesar das adversidades deparadas, foi possível obter processos que têm presente o BIM na sua forma de trabalho, e que tiram partido dos avanços tecnológicos alcançados pela indústria de produção. Sendo uma área onde ainda não são muitos os utilizadores dos programas usados, esta dissertação permitiu mostrar que as ferramentas de trabalho trazem vantagens em muitos sentidos, assim como o sistema automático de produção de armaduras.

As vantagens económicas, quando utilizado o sistema industrializado, já foram evidenciadas por outros estudos, mas perante as propostas desenvolvidas neste trabalho, os custos associados ao fabrico automático de armaduras poderão sofrer uma nova redução uma vez que se mostra uma solução para que a elaboração dos desenhos de preparação passe a ser realizada fora das fábricas, permitindo assim excluir esta despesa do custo total de fabrico das armaduras.

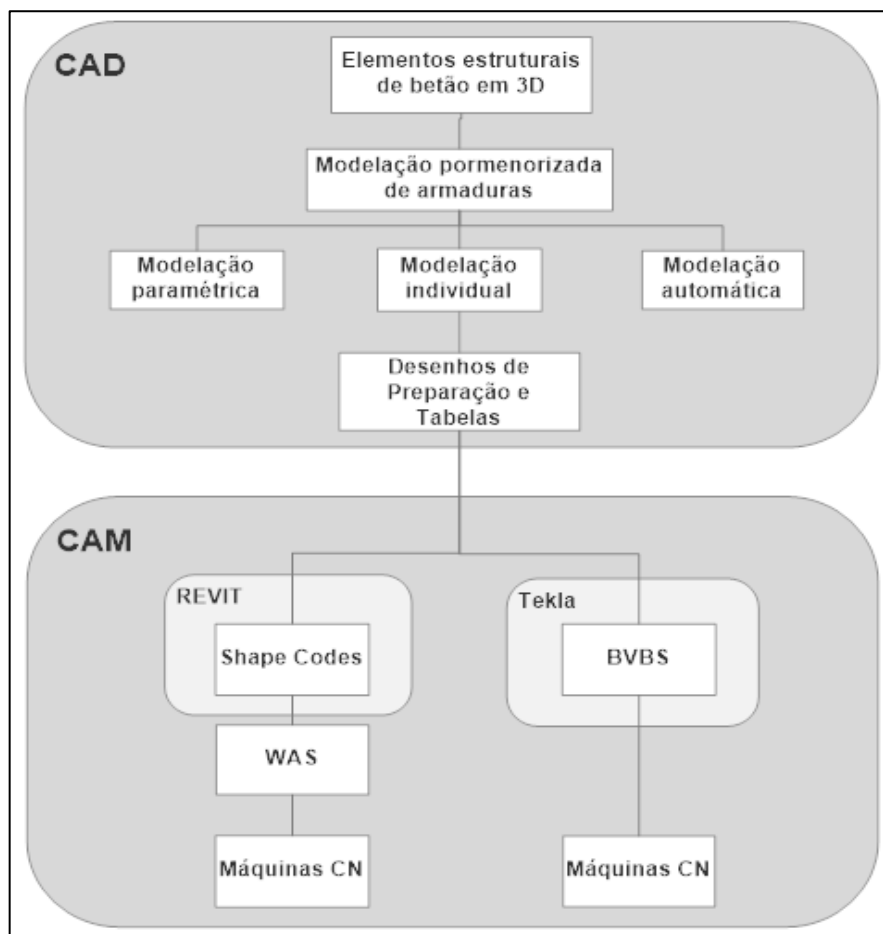


Figura 49 – Esquema geral dos processos CAD/CAM propostos nesta dissertação.

6.2. PERSPETIVAS FUTURAS

Observando o panorama atual da construção, para além do que foi analisado junto com as empresas que utilizam o sistema de corte e dobragem automático de armaduras, é claro que neste momento o sistema tradicional em Portugal é o que prevalece. Para além disso, ainda não são muitas as empresas que realizam os seus projetos em BIM, verificam-se que muitas delas pura e simplesmente desconhecem a sua existência. Perante estes dois fatores, é claro que existe um longo caminho a percorrer até à modelação e fabricação de armaduras ser um processo rápido e realizado com muito elevado automatismo.

Contudo, perante os resultados obtidos com esta dissertação pode-se concluir que a compatibilidade de sistemas é algo possível de atingir, uma vez que, com a criação de *softwares* e programas, este obstáculo pode ser ultrapassado. Tomando como referência o programa utilizado na Sardaço, criando uma opção para a introdução de ficheiros BVBS no mesmo, a informação passa a ser enviada para as máquinas por meio do servidor, e o processo poderá ser mais rápido e direto, em comparação com o atual.

Este parece ser o rumo que a indústria e produção irão tomar, uma vez que já é feito desta forma em certos países. Uma vez familiarizados e especializados em BIM, os técnicos e engenheiros poderão

comprovar as vantagens trazidas por estes tipos de processos. Até lá, deverá ser aperfeiçoada a interoperabilidade entre os programas de modelação e as máquinas, de forma a ultrapassar a incompatibilidade de ficheiros.

BIBLIOGRAFIA

- AIA. 2009. Interoperability Position Statement. <http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab082297.pdf>.
- Aram, Shiva, Charles Eastman, and Rafael Sacks. 2013. "Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain." *Automation in Construction*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.01.013>.
- Autodesk. Consultado em 03/2013. Software for BIM. <http://www.autodesk.com/products/autodesk-revit-family/features>.
- Autodesk. Consultado em 04/2013. CAD / CAM. <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/item?siteID=123112&id=17691027>.
- Bazjanac, Vladimir, and DB Crawley. 1999. Industry foundation classes and interoperable commercial software in support of design of energy-efficient buildings. In *Proceedings of Building Simulation '99*. Kyoto, Japan.
- Bedrick, Jim. 2008. Organizing the Development of a Building Information Model. *AECbytes Feature*, <http://www.aecbytes.com/feature/2008/MPSforBIM.html>.
- Bernold, Leonhard. 1991. Process Driven Automated Rebar Bending.
- Bryde, David, Martí Broquetas, and Jürgen Marc Volm. 2013. "The project benefits of Building Information Modelling (BIM)." *International Journal of Project Management*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>.
- Cares, UK. 2011. "Fabrication of Reinforcement." *The Cares Guide to Reinforcing Steels* no. 4.
- Carlott, Marcos. 2012. *Comparativo entre o método de corte e dobra de aço industrializado e em obra de um edifício*. Trabalho de Monografia II UNIVERSIDADE COMUNITÁRIA DA REGIÃO DE CHAPECÓ.
- Casaleiro, Pedro. 2010. *Equipamento de corte e dobragem de aço em varão*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre, Civil, Universidade Técnica de Lisboa.
- Dolinšek, Blaž, and Janez Duhovnik. 1998. "Robotic assembly of rebar cages for beams and columns." *Automation in Construction* no. 8 (2):195-207. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0926-5805\(98\)00083-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0926-5805(98)00083-1).

- Dunston, Ph S, and LE Bernold. 1993. Intelligent control for robotic rebar bending. Paper read at Proceedings of the Tenth International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Houston, TX, May.
- Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. . (2009). "BIM Handbook, A guide to building information modelling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. 2nd ed. 650 p, Wiley, Hoboken, New Jersey."
- Eastman, Charles , and Rafael Sacks. 2008. "Relative productivity in the AEC industries in the United States for on-site and off-site activities." *Journal of construction engineering and management* no. 134 (7):517-526.
- Eastman, Charles, Rafael Sacks, and Ghang Lee. 2003. Development and implementation of advanced IT in the North American precast concrete industry.
- Feingold, Jean. 2007. Rebar on the job. *Concrete Contractor*, Dezembro de 2007, <http://www.forconstructionpros.com/article/10297377/rebar-on-the-job>.
- Ferreira, Bruno, João Lima, João Rio, and João Poças Martins. 2012. Integração da Tecnologia BIM no Projeto de Estruturas de Betão. In *Congresso Betão Estrutural*. Porto, Portugal.
- Gequaltec. 2011. "BIM. Wiki da Construção. Consult. em 01-03-2013. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~gequaltec/w/index.php?title=BIM>>."
- Grilo, António, and Ricardo Jardim-Goncalves. 2010. "Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments." *Automation in Construction* no. 19 (5):522-530. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.003>.
- Johansson, Magnus, and Emil Jonasson. 2011. *Potential improvements of the reinforcement process by implementation of BIM*. Master's Thesis, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
- Jr., Joseph M. Ales, S.E.; Erik Kneer, and P.E.; David Mykins. 2011. Building Information Modeling for the Engineer of Record. . Structural Engineering Institute - Council of American Structural Engineers White Paper.
- Khemani, Haresh. 2009. What is Numerical Control Machine? , <http://www.brightengineering.com/manufacturing-technology/55670-what-is-numerical-control-machine/>.
- Khemlani, Lachmi. 2004. "The IFC Building Model: A Look Under the Hood." *AECbytes Feature*:1-10.
- Kim, Inham, and Jongcheol Seo. 2010. "BIM as a Design and Construction Quality Control Medium." *Journal of Building Information Modeling*.
- McGraw_Hill. 2007. Interoperability in the Construction Industry, SmartMarket Report. McGraw-Hill Construction, New York, NY.
- Navon, Ronie, Ya'acov Rubinovitz, and Mendi Coffler. 1995. "Development of a fully automated rebar-manufacturing machine." *Automation in Construction* no. 4 (3):239-253. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0926-5805\(95\)00007-N](http://dx.doi.org/10.1016/0926-5805(95)00007-N).

- Navona, R, Y Rubinovitzb, and M Cofflerc. 1994. "Rebar Computer Aided Design And Manufacturing." *Automation and Robotics in Construction XI*:155.
- Polat, Gul, and Glenn Ballard. 2003. Construction supply chains: Turkish supply chain configurations for cut and bent rebar. Paper read at Proc., 11th Annual Conf. on Lean Construction.
- Polat, Gul, and Glenn Ballard. 2005. Why is on-site fabrication of cut and bent rebar preferred in Turkey? Paper read at 13th International Group for Lean Construction Conference: Proceedings, at Sydney, Australia.
- Porwal, Atul, and Kasun N. Hewage. 2013. "Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects." *Automation in Construction* no. 31 (0):204-214. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.004>.
- Praça, Eduardo Rocha, and José de Paula Barros Neto. 2001. Estudo comparativo de custos do processo de preparação e execução de armaduras de aço tradicional em relação ao processo de fornecimento industrializado de aço moldado fora do canteiro de obras. Paper read at ENEGEPE – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, at Fortaleza, Brasil.
- Redmond, Alan, Alan Hore, Mustafa Alshawhi, and Roger West. 2012. Exploring how information exchanges can be enhanced through Cloud BIM. *Automation in Construction* 24: 175-183, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580512000180>.
- Robert L. Neary, Jr. , FAIA Lloyd H. Siegel, P.E. Kurt Knight, and AIA RLA LEED-AP® Renée Tietjen. 2010. "The VA BIM guide." *Department of Veterans Affairs, Office of Construction*.
- Sacks, Rafael, and Ronen Barak. 2008. "Impact of three-dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice." *Automation in Construction* no. 17 (4):439-449. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2007.08.003>.
- Silva, Jorge 2013. *Princípios para o desenvolvimento de projetos com recurso a ferramentas BIM*. Dissertação, Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Simonsson, Peter, and Mats Emborg. 2007. Industrialization in Swedish bridge engineering: A case study of lean construction. Paper read at Proc., 15th Annual Conf. of the Int. Group for Lean Construction (IGLC-15), International Group of Lean Construction, East Lansing, MI.
- Simonsson, Peter, and Romuald Rwamamara. 2007. Consequences of industrialized construction methods on the working environment. Paper read at 15th Annual IGLC Conference, Michigan.
- Sondalini, Mike. Consultado em 04/2013. Lean Improvement Success at a Concrete Reinforcing Bar Manufacturer. <http://www.lifetime-reliability.com/consulting/lean-manufacturing-improvements/reinforcing-bar-manufacturer.html>.
- Staub-French, Sheryl, Daniel Forgues, Ivanka Iordanova, Amir Kassaian, Basel Abdulaal, Mike Samilski, Hasan Burak Cavka, and MadhavNepal. 2011. "'Best practices' project report."
- T.Dean;, Edwin, Michelle Kernan;, NishkianDean; Aaron White;, Walter P. Moore;, and Erleen Hatfield;. 2010. "Strategic Plan to Develop BIM Interoperability in Structural Concrete." *White Paper*.

- Teicholz, Paul. 2013. Labor-Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies (Another Look). *AECbytes Viewpoint* 67.
- Tekla. *Built for building information modeling* 2013. Available from <http://www.tekla.com/INTERNATIONAL/SOLUTIONS/BUILDING-CONSTRUCTION/Pages/Default.aspx>.
- Tsai, Meng-Han, Shih-Chung Kang, and Shang-Hsien Hsieh. 2010. "A three-stage framework for introducing a 4D tool in large consulting firms." *Advanced Engineering Informatics* no. 24 (4):476-489. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2010.04.002>.
- Venugopal, M., C. M. Eastman, R. Sacks, and J. Teizer. 2012. "Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema." *Advanced Engineering Informatics* no. 26 (2):411-428. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2012.01.005>.
- Wang, Hui-Fen, and You-Liang Zhang. 2002. "CAD/CAM integrated system in collaborative development environment." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* no. 18 (2):135-145. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0736-5845\(01\)00027-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0736-5845(01)00027-8).
- Yu, Wen-der, Shao-tsai Cheng, Chih-ming Wu, and Hou-rong Lou. 2012. "A self-evolutionary model for automated innovation of construction technologies." *Automation in Construction* no. 27:78-88. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.04.018>.

ANEXOS

ANEXO 1 – DEFINIÇÕES

REVIT

O *software* Autodesk Revit ® oferece ferramentas que apoiam projetos de arquitetura, mecânica, engenharia estrutural e construção. O Revit foi especificamente criado para *Building Information Modeling* (BIM) de forma a ajudar na projeção, construção e manutenção de edifícios de forma mais eficiente. Os recursos abrangentes tornam-no numa solução ideal para toda a equipa envolvida num projeto de construção (Autodesk Consultado em 03/2013).

O sistema de coordenadas utilizado pelo Revit é paramétrico ou seja, o *software* permite a reutilização de modelos de projetos anteriores, mas com dimensões diferentes. No entanto, o *software* não lida da melhor forma com a curvatura em ambas as direções x-y x-z simultaneamente. Assim, para geometrias simples, tais como elementos retangulares ou elementos com curvatura num único plano o *software* funciona bem. Devido a estas características Revit é usado principalmente para a modelação de elementos comuns ou estruturas como suportes simples de pontes (Johansson and Jonasson 2011).

TEKLA STRUCTURE

O Tekla Structures é um *software* desenvolvido para a engenharia estrutural. Este *software* integra ferramentas para o detalhe de reforços de elementos e é capaz de criar desenhos e tabelas que podem ser usados durante todo o processo de construção. Isso torna o *software* numa ferramenta poderosa para todos os participantes no processo de construção. Os modelos criados com o Tekla Structures são totalmente paramétricos. Ao alterar as dimensões dos elementos estruturais, os detalhes como o espaçamento das armaduras e do número de barras são corrigidos automaticamente. O facto de este programa utilizar um sistema de coordenadas paramétricas gera potencial para a reutilização de modelos e dados (Tekla 2013).

BVBS

Abreviação para *Bundesvereinigung der BauSoftwarehäuser* (Confederação das casas de *software* de construção). Este foi originalmente um padrão para a Administração Federal dos Transportes, Construção e Desenvolvimento Urbano necessário para assegurar que as autoridades são capazes de implementar uma solução com base num *software* para o processamento de tarefas de forma rápida e económica.

SCHNELL

Grupo empresarial mundial, no setor de máquinas automáticas e de programas de *software* para o trabalho do aço para a construção civil.

O Grupo Schnell é uma realidade multinacional formada por 13 empresas - 7 fábricas, 1 de *software* e 5 de serviços. O Grupo Schnell não é uma rigorosa estrutura hierárquica, mas sim uma "constelação" de empresas, cada uma com o seu objetivo específico e sua autonomia de decisão, coordenadas pela empresa matriz.

COIL 16 EVO

Estribadeira automática bidirecional que permite produzir estribos e barras cortadas sob medida utilizando aços até Ø 16 mm ou duplo de Ø 13 mm. Com flap recolhedor de estribos, grupo de inserção de fio, corretor de rotação ferro (*ANTI TWIST*) e Tecnologia Sapiens que automatiza totalmente o sistema de endireitamento.



Figura 50 – Coil 16 Evo, Schnell.

MEP

Grupo responsável pelo desenvolvimento do primeiro estribo dobrado automaticamente com máquina alimentada por bobina. MEP mantém também a função de centro de condução e coordenação onde as estratégias do grupo são definidas em sinergia com todas as empresas do Grupo.

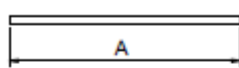
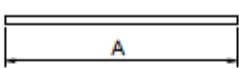
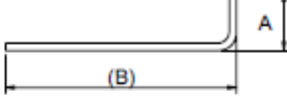
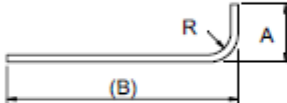
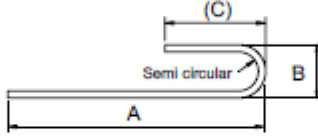
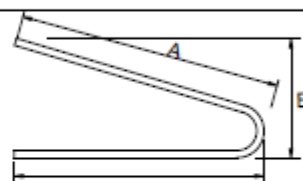
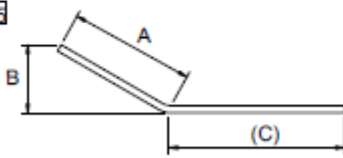
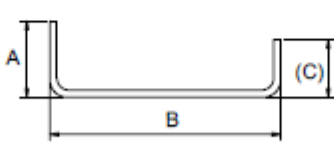
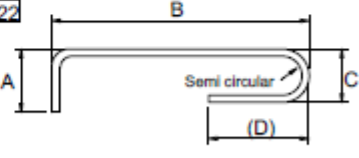
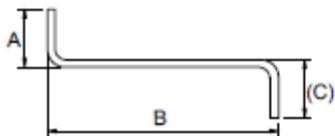
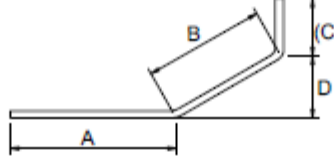
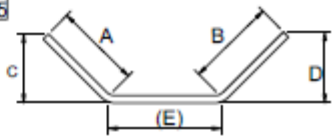
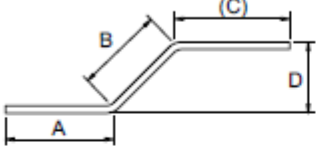
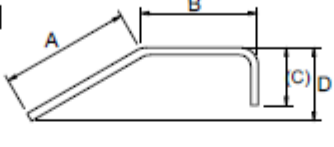
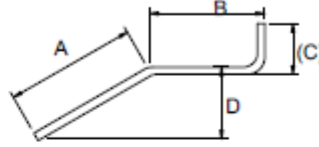
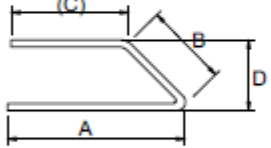
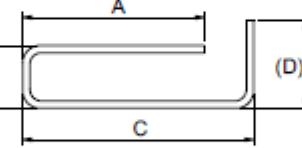
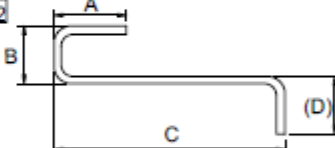
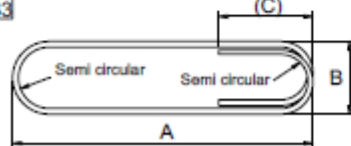
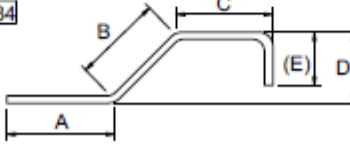
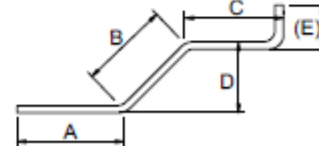
PLANET 20

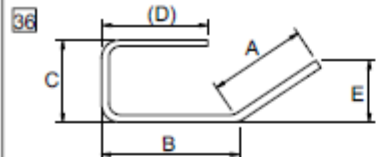
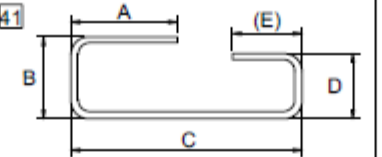
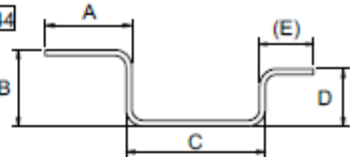
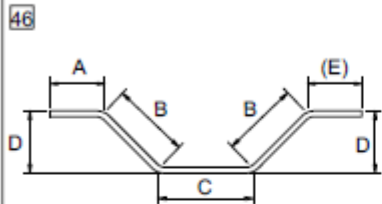
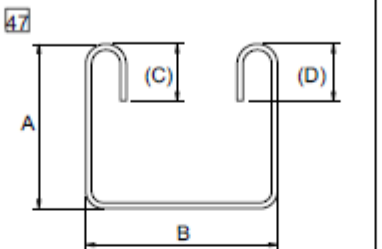
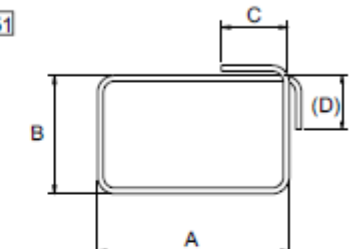
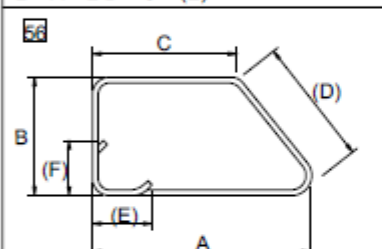
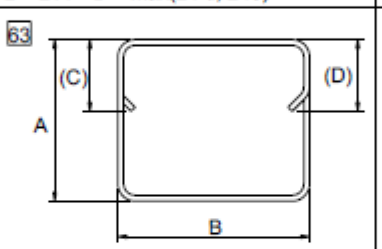
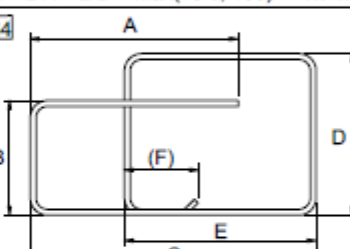
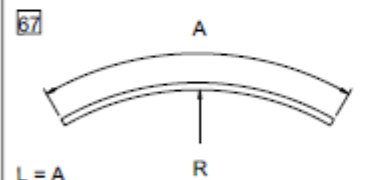
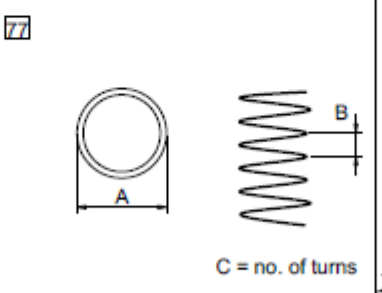
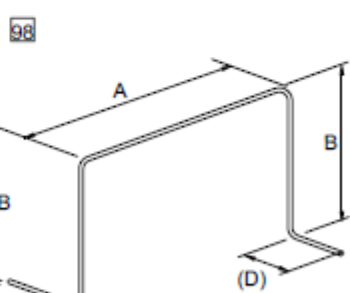
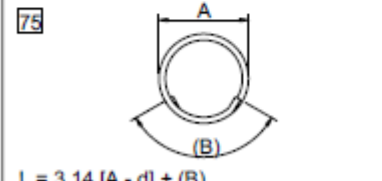
A PLANET 20 dobra estribos automaticamente. A ação combinada de uma série de dispositivos patenteados minimiza o tempo para ajustes adicionais e reduz drasticamente a quantidade de material desperdiçado.



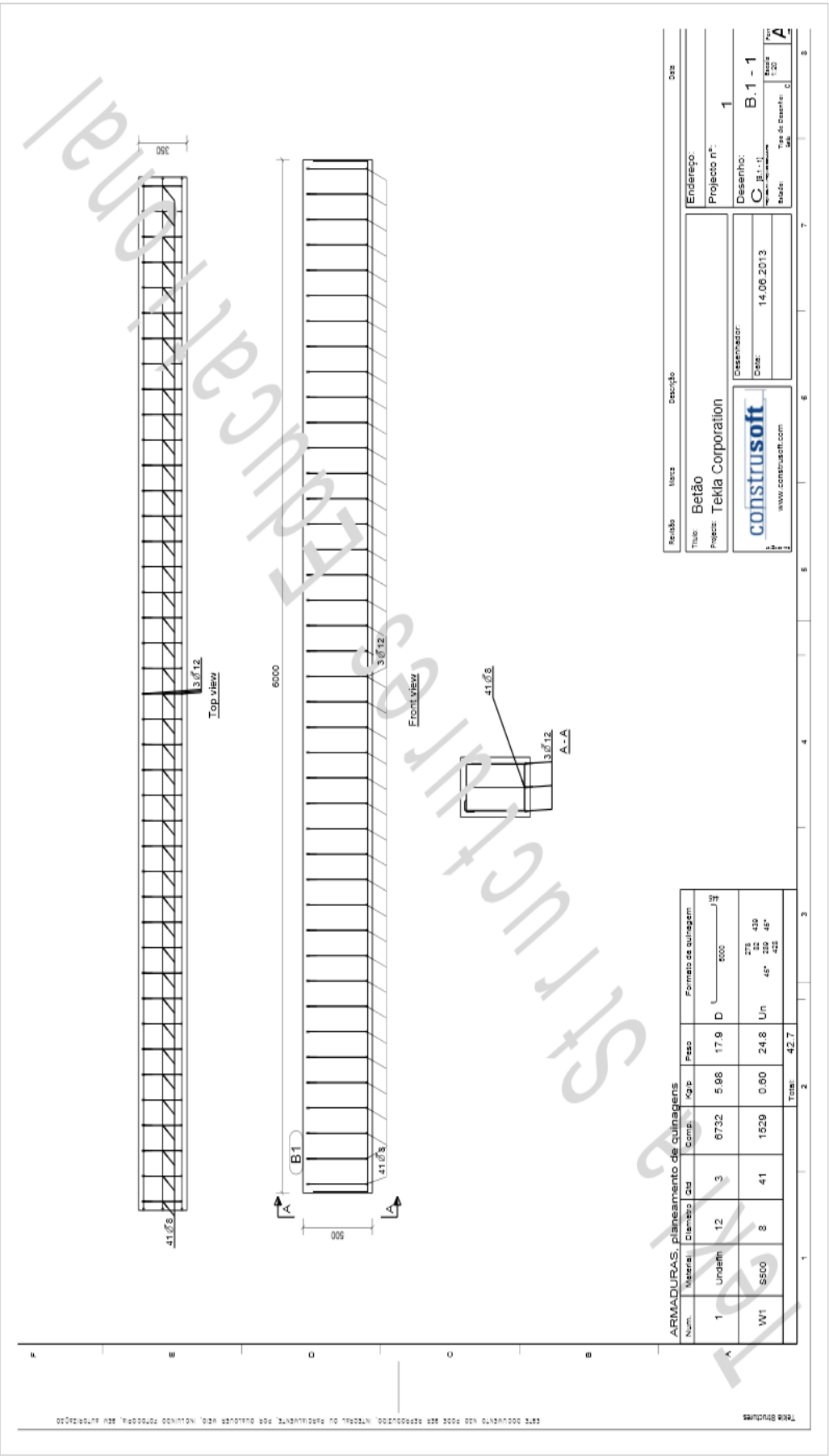
Figura 51 – Planet 20, MEP.

ANEXO 2 – TABELA RESUMO COM OS CÓDIGOS DA BS 8666:2005

Shape and total length of bar (L) measured along centre-line		
<p>00</p>  <p>$L = A$</p>	<p>01</p>  <p>$L = A$, stock lengths</p>	<p>11</p>  <p>$L = A + (B) - 0.5 r - d$</p>
<p>12</p>  <p>$L = A + (B) - 0.43 R - 1.2 d$</p>	<p>13</p>  <p>$L = A + 0.57 B + (C) - 1.6 d$</p>	<p>14</p>  <p>$L = A + (C) - 4 d$</p>
<p>15</p>  <p>$L = A + (C)$</p>	<p>21</p>  <p>$L = A + B + (C) - r - 2 d$</p>	<p>22</p>  <p>$L = A + B + C + (D) - 1.5 r - 3 d$</p>
<p>23</p>  <p>$L = A + B + (C) - r - 2 d$</p>	<p>24</p>  <p>$L = A + B + (C)$</p>	<p>25</p>  <p>$L = A + B + (E)$</p>
<p>26</p>  <p>$L = A + B + (C)$</p>	<p>27</p>  <p>$L = A + B + (C) - 0.5 r - d$</p>	<p>28</p>  <p>$L = A + B + (C) - 0.5 r - d$</p>
<p>29</p>  <p>$L = A + B + (C) - r - 2 d$</p>	<p>31</p>  <p>$L = A + B + C + (D) - 1.5 r - 3 d$</p>	<p>32</p>  <p>$L = A + B + C + (D) - 1.5 r - 3 d$</p>
<p>33</p>  <p>$L = 2A + 1.7 B + 2 (C) - 4 d$</p>	<p>34</p>  <p>$L = A + B + C + (E) - 0.5 r - d$</p>	<p>35</p>  <p>$L = A + B + C + (E) - 0.5 r - d$</p>

Shape and total length of bar (L) measured along centre-line		
 <p>$L = A + B + C + (D) - r - 2 d$</p>	 <p>$L = A + B + C + D + (E) - 2 r - 4 d$</p>	 <p>$L = A + B + C + D + (E) - 2 r - 4 d$</p>
 <p>$L = A + 2 B + C + (E)$</p>	 <p>$L = 2 A + B + \max(21 d, 240)$ *see note</p>	 <p>$L = 2 A + 2 B + \max(16 d, 160)$ *see note</p>
 <p>$L = A + B + C + (D) + 2(E) - 2.5 r - 5 d$</p>	 <p>$L = 2 A + 3 B + \max(14 d, 150)$ *see note</p>	 <p>$L = A + B + C + 2 D + E + (F) - 3 r - 6 d$</p>
 <p>$L = A$</p>	 <p>$L = 3.14 (A - d) C$ where $B > A/5$ $L = \sqrt{((3.14 (A - d))^2 + B^2) C}$ C = no. of turns</p>	 <p>$L = A + 2 B + C + (D) - 2 r - 4 d$</p>
 <p>$L = 3.14 [A - d] + (B)$</p>	<p>99 All shapes where standard shapes cannot be used. No other shape code number, form of designation or abbreviation shall be used in scheduling. A dimensioned sketch shall be drawn over the dimension columns A to E. Every dimension shall be specified and the dimension that is to allow for permissible deviations shall be indicated in parenthesis, otherwise the fabricator is free to choose which dimension shall allow for the tolerance.</p>	
		<p>Notes The length equations for shape codes 47, 51 and 63 are for when dimensions C and D are to be minimised. '+ max(14 d, 150)' means add the greater value of either 14 d or 150mm.</p>


ANEXO 3 – DESENHO DE PREPARAÇÃO PRODUZIDO NO TEKLA



ANEXO 4 – LISTA DE OTIMIZAÇÃO DE CORTE PRODUZIDA NA EMPRESA SARDAÇO

SARDAÇO, S. A.

Lanç. ref. N° 3		27-08-10 12:20		Pág. 1	
Do 27-08-2010		Lista de optimização de corte SUPERFLEX		Lista N° 1	
				16 A50	



831110082703002001

Cpto stock	Qde	Tons.	Estatísticas	Peso prod.	1.263
1200	7	0.13	H:mn 0,33	Stock falsos c 0,70 %	9
1500	2	0.05	N° barra 188	Stock aparas 1,16 %	15
1800	39	1.11	N° etiç. 7	Prod. FC 0,71 %	
			N° cte 52	Prod. aparas 1,19 %	
			N° ciclos 13		
			Barras / Ci 3,69		
Total 1.287			FC geradas		

585 x 1

Comb. N° 1		16 A50 Cto 1200		Qde 5 Ciclo		(1 x 5 Bar(s))		Apara 0							
N°	Longu. cpe	Cuts	Tol.	Via	Batente	Contr.	NP	SP	Marca	N° etiqueta	Var.	Ped.	Pacote	Evac.	Máq. segu
1	380	1	0	2	1	30	44	SEQ-0059	11B	* 92 *		5		Via	
2	299	1	1	3	1	30	44	SEQ-0059	11A	* 91 *		5		Via	
3	521	1	0	1	1	30	44	SEQ-0059	9	* 97		75			

Comb. N° 2		16 A50 Cto 1200		Qde 1 Ciclo		(1 x 1 Bar(s))		Apara 0							
N°	Longu. cpe	Cuts	Tol.	Via	Batente	Contr.	NP	SP	Marca	N° etiqueta	Var.	Ped.	Pacote	Evac.	Máq. segu
1	380	1	0	2	1	30	44	SEQ-0059	13B	* 96 *		1		Via	
2	299	1	1	3	1	30	44	SEQ-0059	13A	* 95 *		1		Via	
3	521	1	0	1	1	30	44	SEQ-0059	9	97		70			

Comb. N° 3		16 A50 Cto 1800		Qde 25 Ciclo		(5 x 5 Bar(s))		Apara 16							
N°	Longu. cpe	Cuts	Tol.	Via	Batente	Contr.	NP	SP	Marca	N° etiqueta	Var.	Ped.	Pacote	Evac.	Máq. segu
1	421	3	0	2	1	30	44	SEQ-0059	10	* 98 *		75		Via	OMES CS4
2	521	1	0	1	1	30	44	SEQ-0059	9	97		69			

Comb. N° 4		16 A50 Cto 1800		Qde 14 Ciclo		(2 x 5 Bar(s) + 4)		Apara 32							
N°	Longu. cpe	Cuts	Tol.	Via	Batente	Contr.	NP	SP	Marca	N° etiqueta	Var.	Ped.	Pacote	Evac.	Máq. segu
1	205	1	0	3	1	30	44	SEQ-0059	12	* 93		26			
2	521	3	0	1	1	30	44	SEQ-0059	9	97		44			

Comb. N° 5		16 A50 Cto 1500		Qde 1 Ciclo		(1 x 1 Bar(s))		Apara 48							
N°	Longu. cpe	Cuts	Tol.	Via	Batente	Contr.	NP	SP	Marca	N° etiqueta	Var.	Ped.	Pacote	Evac.	Máq. segu
1	205	2	0	3	1	30	44	SEQ-0059	12	93		12			
2	521	2	0	1	1	30	44	SEQ-0059	9	97 *		2		Via	OMES CS4

Comb. N° 6		16 A50 Cto 1500		Qde 1 Ciclo		(1 x 1 Bar(s))		Apara 65							
N°	Longu. cpe	Cuts	Tol.	Via	Batente	Contr.	NP	SP	Marca	N° etiqueta	Var.	Ped.	Pacote	Evac.	Máq. segu
1	205	7	0	3	1	30	44	SEQ-0059	12	93		10			

